

MODELOS MISTOS E GGE *BILOT* NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS
DE SOJA PARA A REGIÃO NORTE FLUMINENSE

JOSIMAR NOGUEIRA BATISTA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
NOVEMBRO – 2022

MODELOS MISTOS E GGE *BIPL*OT NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS
DE SOJA PARA A REGIÃO NORTE FLUMINENSE

JOSIMAR NOGUEIRA BATISTA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Geraldo de Amaral Gravina

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
NOVEMBRO – 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

B333

Batista, Josimar Nogueira.

Modelos mistos e GGE *biplot* na seleção de genótipos de soja para a região Norte Fluminense / Josimar Nogueira Batista. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

81 f. : il.

Bibliografia: 48 - 59.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.

Orientador: Geraldo de Amaral Gravina.

1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. interação genótipo x ambiente. 3. adaptabilidade e estabilidade. 4. REML/BLUP. 5. rendimento de grãos. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

MODELOS MISTOS E GGE *BI* PLOT NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA PARA A REGIÃO NORTE FLUMINENSE

JOSIMAR NOGUEIRA BATISTA

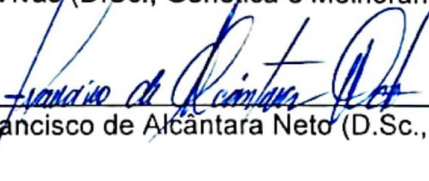
“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal”

Aprovada em 29 de novembro de 2022

Comissão Examinadora:



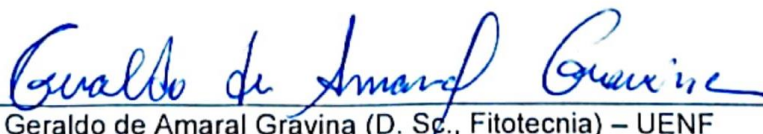
Prof. Marcelo Vivas (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) – UENF



Prof. Francisco de Alcântara Neto (D.Sc., Fitotecnia) – UFPI



Pós-Doc. Lília Marques Grávina (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF



Prof. Geraldo de Amaral Grávina (D. Sc., Fitotecnia) – UENF
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A todos os professores e funcionários das Escolas, que desde o início da minha formação cidadã e acadêmica, foram fundamentais com conselhos e ensinamentos, permitindo construir oportunidades;

Aos colegas da UFRRJ Campos, pelo convívio, e sempre resilientes, que junto com a Embrapa retornaram as pesquisas com a soja em 2017/2018;

À UFRRJ pela concessão de horário especial, permitindo cursar o Doutorado;

Ao meu orientador Geraldo de Amaral Gravina, pela atenção e os ensinamentos;

Aos professores Marcelo Vivas, Francisco de Alcântara Neto e Lília Marques Gravina por comporem a Banca e terem feito valiosas contribuições;

Aos colegas Yure e Dervaldo pelo auxílio nas análises estatísticas;

Às Fazendas Ayrizes, Santo Amaro (Guandu), Primus Ipanema e Abadia, pela disponibilidade de áreas, implementos e demais necessidades de manejo;

Aos pesquisadores da Embrapa Agrobiologia, Embrapa Soja, Embrapa Solos, Pesagro, por fazerem parte e apoiarem este Projeto, com parte da equipe técnica, estudantes e recursos, em momentos de muitas dificuldades para a pesquisa brasileira, com recursos da FAPERJ, CNPq, ANPq e outros;

Ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UENF, estendendo aos funcionários, professores e estudantes;

Aos investimentos em Educação de governos anteriores, que criaram base sólida e viabilizaram oportunidades, como as que me permitiram a formação em Instituições públicas, gratuita e de qualidade;

Aos meus pais por todo apoio, carinho e orações, e à Letícia pelo companheirismo e incentivos;

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que eu pudesse concluir essa Tese.

Gratidão!

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Classificação botânica, origem da soja e importância econômica	4
2.2 Cultivares de soja	6
2.3 A soja no Norte Fluminense	9
2.4 Interação Genótipo x Ambiente	12
2.5 Avaliação da adaptabilidade e estabilidade	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Ambientes	16
3.2 Delineamento experimental e genótipos	21
3.3 Análise genética e estatística	23
3.4 Metodologia REML/BLUP	23
3.5 Análise multivariada GGE <i>Biplot</i>	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Valores genotípicos para rendimento de grãos	28
4.2 Distribuição de chuvas durante o período dos experimentos	34
4.3.1 Média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) via modelo REML/BLUP	37
4.3.2 Metodologia GGE <i>Biplot</i>	40
5. RESUMO E CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICES	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regiões sojícolas – Ensaio de V.C.U., Terceira Aproximação. Embrapa Soja, Londrina - PR. 2011.....	8
Figura 2. Solos das áreas consideradas potenciais para o cultivo de soja e milho na região Norte Fluminense, selecionadas a partir do mapa de solos do estado do Rio de Janeiro, na escala 1:250.000.....	11
Figura 3. Precipitação, temperaturas do ar mínima, média e máxima dos ambientes onde foram avaliados os diferentes genótipos de soja na região Norte Fluminense, nos anos de 2019, 2020 e 2021. A1, A2 e A3: Campos dos Goytacazes-RJ e A4, A5: Macaé RJ.....	19
Figura 4. Estimativa de valores genotípicos médios ($\mu + g + ge$) para rendimento de grãos de oito genótipos de soja avaliados em cinco ambientes: (a) A1: Faz. Abadia Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; (a) A2: Faz. Ayrizes Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; (c) A3: Faz. Guandu Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; (d) A4: Faz. Primus, Macaé Safra 2019/2020; (e) A5: Faz. Primus, Macaé Safra 2020/2021.....	34
Figura 5. GGE <i>Biplot</i> “which-won-where” para rendimento de grãos de oito genótipos de soja avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	41

Figura 6. Análise GGE <i>Biplot</i> “Média versus Estabilidade” para rendimento de grãos de soja avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	43
Figura 7. GGE <i>Biplot</i> para identificação do genótipo ideal em relação à rendimento de grãos de soja avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	44
Figura 8. Relação entre os ambientes obtida pelo modelo GGE <i>Biplot</i> comparando diferentes genótipos de soja quanto ao rendimento de grãos em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características de solo e clima de cada ambiente onde foram avaliados os diferentes genótipos de soja nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	17
Tabela 2. Análise química e granulométrica dos solos nas áreas de condução dos experimentos antes da semeadura das cultivares de soja.....	20
Tabela 3. Descrição dos diferentes genótipos de soja utilizados nos experimentos no Norte Fluminense, nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	22
Tabela 4. Análise de deviance, teste qui-quadrado (χ^2), estimativa dos componentes de variância e parâmetros genéticos para rendimento de grãos de oito genótipos de soja avaliados em cinco ambientes na região Norte Fluminense.....	28
Tabela 5. Ranqueamento e valores genotípicos preditos livre da interação com ambientes para a característica rendimento de grãos de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes ao longo das safras 2019/2020 e 2020/2021.....	30
Tabela 6. Estimativas dos valores genotípicos do rendimento de grãos de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	33
Tabela 7. Distribuição da precipitação pluviométrica por decêndios nos diferentes ambientes de cultivo da soja ao longo das safras 2019/2020 e 2020/2021.....	36

Tabela 8. Estabilidade genotípica (MHVG), adaptabilidade genotípica (PRVG e PRVG μ), estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (MHPRVG e MHPRVG μ) quanto ao rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.....	39
--	----

RESUMO

Batista, Josimar Nogueira; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; novembro de 2022; Modelos mistos e GGE *Biplot* na seleção de genótipos de soja para a região Norte Fluminense; Orientador: Dr. Geraldo de Amaral Gravina.

A soja ao longo dos anos tem sido apontada como fonte alternativa de cultivo na região Norte Fluminense e, neste sentido, estudos que possibilitem avaliar as mudanças no desempenho relativo de genótipos em função de interações genótipo-ambiente (IGA) nos diferentes ambientes são essenciais para o posicionamento das cultivares disponíveis no mercado. Dentro deste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar e selecionar genótipos de soja superiores para desempenho e estabilidade de rendimento a partir de ensaios multiambientes conduzidos nas condições edafoclimáticas da região Norte Fluminense. Oito genótipos foram avaliados quanto ao rendimento de grãos, utilizando-se o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições em cinco ambientes durante as safras 2019/2020 e 2020/2021. Os componentes de variância e parâmetros genéticos foram estimados usando modelos mistos, e a adaptabilidade e estabilidade foram determinadas pelas metodologias REML/BLUP e GGE *Biplot*. Houve concordância entre as estatísticas do valor genotípico predito livre da interação ($\mu + g$), MHVG (estabilidade e rendimento) e PRVG (adaptabilidade), com destaque para os genótipos P 95R95 IPRO e BMX COMPACTA IPRO. Com base na seleção da

MHPRVG via REML/BLUP que reúne rendimento, adaptabilidade e estabilidade, é possível sugerir os genótipos P 95R95 IPRO, BMX COMPACTA IPRO e TMG 7061 IPRO para a região Norte Fluminense. A metodologia GGE *Biplot* permitiu selecionar os genótipos BRS 7780 IPRO, M 5917 IPRO, TMG 7061 IPRO e P 95R95 IPRO como aqueles de maior rendimento de grãos e acima da média dos ambientes. As metodologias da MHPRVG via REML/BLUP e GGE *Biplot* apresentaram concordância na identificação dos genótipos P 95R95 IPRO e TMG 7061 IPRO, sendo estes considerados mais produtivos e estáveis para a região Norte Fluminense.

ABSTRACT

Batista, Josimar Nogueira; D.Sc.; State University of Northern Fluminense Darcy Ribeiro; november, 2022; Mixed models and GGE *Biplot* in the selection of soybean genotypes for the North Fluminense region; Advisor: D.Sc. Geraldo de Amaral Gravina.

Soybeans over the years have been indicated as an alternative source of cultivation in the North Fluminense region and, in this sense, studies that allow to evaluate changes in the relative performance of genotypes as a function of genotype-environment interactions (GEI) in different environments are essential for the positioning of cultivars available in the market. Within this context, this study aimed to evaluate and select superior soybean genotypes for performance and yield stability from multi-environment trials conducted in the edaphoclimatic conditions of the North Fluminense region. Eight genotypes were evaluated for grain yield, using a randomized blocks design with four repetitions in five environments during the 2019/2020 and 2020/2021 crop seasons. Variance components and genetic parameters were estimated using mixed models, and adaptability and stability were determined by REML/BLUP and GGE *Biplot* methodologies. There was agreement among the statistics of interaction-free predicted genotypic value ($\mu + g$), MHVG (stability and yield), and PRVG (adaptability), with P 95R95 IPRO and BMX COMPACTA IPRO genotypes standing out. Based on the MHPRVG selection via REML/BLUP that combines yield, adaptability and stability, it is possible to suggest the genotypes P 95R95 IPRO,

BMX COMPACTA IPRO and TMG 7061 IPRO for the North Fluminense region. The GGE *Biplot* methodology allowed selecting the genotypes BRS 7780 IPRO, M 5917 IPRO, TMG 7061 IPRO and P 95R95 IPRO as those with higher grain yield and above the average of the environments. The methodologies of MHPRVG via REML/BLUP and GGE *Biplot* showed agreement in the identification of genotypes P 95R95 IPRO and TMG 7061 IPRO, being these considered more productive and stable for the North Fluminense.

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais espécies agrícolas cultivadas em todo o mundo, sendo o Brasil o maior produtor mundial, tendo a produção de grãos como uma das principais atividades de importância econômica para o país (Conab, 2022; Embrapa 2022), sobretudo com a crescente demanda de proteína, óleo, produtos agroindustriais, dentre outros (Passos et al., 2019; Silva et al., 2021).

Todos estes fatores têm impulsionado o avanço das áreas de cultivo da soja em todas as regiões do país, ampliando a fronteira agrícola desta leguminosa (Albuquerque, 2020). Recentemente, as regiões Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro vêm sendo apontadas como fonte alternativa de cultivo da soja (Zilli et al., 2021; Zilli et al., 2022), visando também preencher a lacuna deixada com a redução da atividade canavieira da região (Conab, 2019), com a possibilidade por exemplo, em ser uma das opções nas áreas de reforma de cana-de-açúcar e uso mais eficiente dos solos com pastagens degradadas. Nesse sentido, a produção de soja surge como alternativa para suprir a demanda da cadeia de alimentação humana e animal, contribuindo para a diminuição da importação de outros estados e para geração de emprego e renda. Além disso, a região Norte Fluminense é beneficiada pela posição estratégica, com a proximidade do Porto do Açú, o que confere menores custos com frete em relação a outras regiões produtoras, e ser um facilitador de abertura para o mercado internacional (Silva Júnior, 2018; Zilli et al., 2022).

Devido às diferenças de solo e clima que ocorrem nas áreas de cultivo, surgem desafios para tornar esta região, uma importante produtora de grãos. No entanto, estudos que possibilitem avaliar as mudanças no desempenho relativo de genótipos em função de interações genótipo-ambiente (IGA) nos diferentes ambientes são essenciais para o posicionamento das cultivares disponíveis no mercado. Outros fatores como o melhoramento genético, lançamento de cultivares com elevado potencial produtivo, alta estabilidade e adaptação às diversas condições de cultivo, são essenciais para as melhorias de rendimento da soja (Dvorjak et al., 2019).

Ao longo das avaliações de seleção de materiais genéticos, é comum a ocorrência da IGA, ou seja, um mesmo genótipo pode apresentar comportamento fenotípico diferente em função das variações que ocorrem nos ambientes (Zakir, 2018; Possobom et al., 2020). Nesse sentido, a seleção e recomendação podem se tornar bastante desafiadoras, sobretudo pela presença da IGA, o que pode influenciar significativamente nas respostas e classificação de desempenho de diferentes genótipos avaliados (Ahakpaz et al., 2021).

Para mitigar o efeito da IGA, os genótipos precisam ser testados em vários ambientes para avaliar sua adaptação ampla ou específica (Najafian et al., 2010). Para garantir o progresso na eficácia da seleção, os genótipos são testados em diversos ambientes para avaliar a sua adaptabilidade e estabilidade, a exemplo de estudos com a cultura da soja (Costa, 2021; Oda et al., 2022).

Existem atualmente diversas metodologias para avaliar a IGA, como as avaliações da estabilidade e adaptabilidade para diversas culturas de interesse econômico (Balakrishnan et al., 2016; Carvalho et al., 2021; Gupta et al., 2022). Dentre os diversos métodos, a estatística de modelos mistos (via REML/BLUP), exploram a melhor capacidade preditiva do BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), e tem sido utilizada para estimar valores genotípicos (Resende, 2016; Olivoto et al., 2017). No contexto dos modelos mistos, a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), é ferramenta útil no ranqueamento de genótipos e considera simultaneamente a estabilidade, adaptabilidade e rendimento (Milioli et al., 2018; Cruz et al., 2021; Dutra Filho et al., 2021).

Atualmente, a adoção de modelos como o GGE (Genotype plus Genotype x Environment interaction), tem sido amplamente aceita entre os melhoristas, sendo

a análise GGE *Biplot*, cada vez mais aplicada em análises de dados de IGA (Olivoto et al., 2017; Ferreira et al., 2021). O GGE *Biplot* é uma análise multivariada, baseada em componentes principais, ela permite uma representação gráfica do genótipo e do padrão de interação com os ambientes, é útil na seleção de genótipos de melhor desempenho e estabilidade produtiva, e possibilita ainda a discriminação e representatividade na análise de multiambientes (Yan, 2011; Alam et al., 2019; Gupta et al., 2022).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar e selecionar genótipos de soja superiores para desempenho e estabilidade de rendimento a partir de ensaios multiambientes, conduzidos nas condições edafoclimáticas da região Norte Fluminense, e com base nos dados de rendimento de grãos, estimar os componentes de variância e os parâmetros genéticos relacionados ao rendimento de grãos, além de selecionar genótipos de soja através de modelos mistos via REML/BLUP e análise GGE *Biplot*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classificação botânica, origem da soja e importância econômica

A soja cultivada atualmente (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta que pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* (L.) Merrill, apresentando $2n=40$ cromossomos (Sedyama, 2009), sendo o provável progenitor a espécie *Glycine ussuriensis* (Costa, 1996).

Apesar da discordância entre diferentes autores sobre o centro de origem da soja, há um consenso do seu surgimento na região leste da Ásia. Por sua vez, acredita-se que a região ao longo do Vale do Rio Amarelo na China, seja o provável centro de origem primário, principalmente pela expressiva diversidade genética existente (Felici, 2017). Já a região Noroeste da China (Manchúria), onde ocorreu a domesticação, é considerada o centro de origem secundário da soja (Chung; Singh, 2008).

A soja é cultivada há mais de 5000 anos em diversos países do oriente, como fonte de alimentação humana e animal além de ser considerado um dos cinco grãos sagrados juntamente com o arroz, trigo, cevada e milheto (Sedyama, 2016). É uma cultura agrícola que permaneceu circunscrita à China e a outros países do Oriente, principalmente pela inexistência de intercâmbio com países do Ocidente (Câmara, 2015). Levada da China para Europa em 1740, a soja foi introduzida em 1804 nos

Estados Unidos (Sediyama, 2009) e, no início do século XX, houve a expansão de intercâmbio da soja entre o Ocidente e o Oriente, culminando na sua expressividade para o comércio no mundo (Figueiredo, 2008).

Atualmente, a soja é umas das culturas mais importantes no cenário mundial, principalmente por ser fonte de proteína e óleo vegetal, gerando um produto de elevado valor biológico, como o alto teor de proteína dos grãos, que varia de 38 a 42%, e óleo, cujo teor se situa entre 18 a 22%, além de conterem ácidos graxos insaturados e aminoácidos essenciais (James; Yang 2016; Patil et al., 2018; Zhang et al., 2018)

O aumento da produção e aceitação pela população, fez com que se desenvolvessem novos produtos derivados da soja, tais como o leite de soja (extrato proteico de soja), leite de soja saborizado, tofu (queijo de soja), farelo e farinha de soja, concentrado e isolados protéicos de soja, proteína texturizada de soja (PTS), missô (pasta de soja) e shoyu (molho de soja) (Guerreiro, 2006). O óleo de soja é também é uma das principais matérias utilizadas na obtenção de biodiesel no Brasil (Barros; Jardine, 2021).

O Brasil é o maior produtor de soja do mundo, com 41,4 milhões de hectares cultivados e produção de 125 milhões de toneladas na safra 2021/2022 (Conab, 2022), com estimativa de crescimento da produção em cerca de 21% para a próxima safra. No mercado mundial, em 2021, o complexo soja brasileiro participou com cerca de U\$\$ 48 bilhões em exportação, com alta representatividade dentro do setor (BRASIL, 2022), sendo que na última safra (ano referência 2021), o Brasil exportou cerca de 86; 17 e 1,6 milhões de toneladas de soja, farelo e óleo, respectivamente (Abiove, 2022).

Neste contexto, a soja se consolidou como expressiva importância econômica para o desenvolvimento de diversas regiões, onde o estado de Mato Grosso se destaca como maior produtor nacional com 28% do total, seguido por Rio Grande do Sul e Paraná, com 17 e 14%, respectivamente (Conab, 2019). No Centro-Oeste, Goiás detém 10% e Mato Grosso do Sul 7% da produção da soja brasileira. Outros estados, como Minas Gerais e São Paulo, além da região do Matopiba representada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, representam 7 e 9% do total da soja produzida, cuja produção representa grande importância para o agronegócio e expansão do desenvolvimento regional.

A produção do grão nestas duas regiões citadas está diretamente ligada às diversas pesquisas, como na área de melhoramento genético, sobretudo na indicação de cultivares mais adaptadas e promissoras, como as áreas em plena expansão no Sul de Minas e Campos das Vertentes, que surgem como alternativa de rotação de cultura com o milho, produzido tradicionalmente nestas regiões.

2.2 Cultivares de soja

Uma cultivar pode ser definida como: “variedade de qualquer gênero ou espécie vegetal superior que seja claramente distinguível de outras cultivares conhecidas, por margem mínima de descritores, por sua denominação própria, que seja homogênea e estável quanto aos descritores através de gerações sucessivas e seja de espécie passível de uso pelo complexo agroflorestal, descrita em publicação especializada disponível e acessível ao público, bem como a linhagem componente de híbridos” (Art. 2º da PORTARIA MAPA Nº 502, DE 19 DE OUTUBRO DE 2022) (BRASIL, 2022).

De acordo com a base de dados do Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2019 existiam aproximadamente 2685 tipos de registros, como material experimental/pré-comercial e cultivares de soja (BRASIL, 2019). Atualmente, existem 4628 tipos de registros desta natureza (BRASIL, 2022), o que representa aumento de 94%, em período de três anos, o que certamente permitirá a obtenção de novas cultivares para diferentes regiões edafoclimáticas nos próximos anos.

Nos últimos dez anos, compreendendo o período entre as safras 2008/2009 e 2018/2019, o aumento médio do rendimento de grãos no Brasil foi de 992 kg ha⁻¹, o que representa aproximadamente 17 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2019). Os principais fatores que impulsionaram o crescimento da produção agropecuária nacional são o mercado interno, a demanda internacional (exportações) e os ganhos em rendimento (BRASIL, 2021). Na safra 2018/2019, a cultura da soja teve um montante de produção de 115 milhões de toneladas, o que representou 41% da produção de grãos no país (CONAB, 2019).

A eficiência do setor produtivo, está ligada também às contribuições do melhoramento genético, com a obtenção de cultivares que carregam em seu genoma os genes capazes de expressar alto rendimento, adaptação ampla e

resistência e/ou tolerâncias aos fatores bióticos e/ou abióticos (De Toledo, 2008). O ganho genético proporcionado pelas novas cultivares ao setor produtivo tem sido muito significativo, cerca de 1,38% ao ano (Embrapa, 2013).

Em 1976, a produção nacional de soja era de aproximadamente 12 milhões de toneladas (CONAB, 2019), restringindo aos estados da região Sul (Lima, 2006). Ao longo dos anos, a ampliação de pesquisas e tecnologias das iniciativas pública e privada permitiram um amplo número de cultivares lançadas a cada ano, iniciando pela competição da preferência e oferta de cultivares que melhor atendessem às diversas condições.

A expansão da soja nas últimas décadas no Brasil se deu graças a sua adaptação as condições de clima tropical e subtropical. Dessa forma, a adaptação da soja às condições de latitude nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste foi um dos grandes desafios para os programas de melhoramento genético da cultura (Almeida et al., 1999). Quando se observa as taxas de crescimento, verifica-se avanço significativo de área e produção nas regiões Norte e Nordeste, sobretudo pelas condições favoráveis para expansão da fronteira agrícola (Hirakuri et al., 2018, Seixas et al., 2020).

O melhoramento genético da soja contribui com o contínuo processo de indicação de cultivares para as médias e baixas latitudes, permitindo desenvolver cultivares com diferentes características de maturidade e ciclo. Devido a sensibilidade da soja ao fotoperíodo, a adaptabilidade varia à medida em que se desloca os plantios em direção ao Sul ou ao Norte, ou seja, quando há variação na latitude (Embrapa, 2013; Neumaier et al., 2020)

Cada cultivar apresenta uma faixa limitada de adaptação em função do seu grupo de maturação (GM). No Brasil, o primeiro trabalho com critério estatístico para estabelecer os Grupos de Maturidade Relativa (GMR) para a soja foi realizado de acordo com metodologias de Alliprandini et al. (2009). Os GMs separam as cultivares de soja de acordo com sua região de melhor possibilidade de adaptação, pois a causa são as diferentes respostas ao fotoperíodo.

A classificação de GM no Brasil seguiu um modelo com numeração semelhante àquela utilizada nos Estados Unidos, mas devido o Brasil estar localizado no Hemisfério Sul, os números de GM se iniciam nas latitudes maiores e aumentam nas latitudes próximas à linha equatorial (Cavassim, 2014).

Um modelo de regionalização de testes de VCU (Valor de Cultivo e Uso) e de indicação de cultivares de soja foi proposto pela Embrapa em colaboração com outras Instituições. Dessa forma, foi lançada a 3ª Aproximação, onde foram estabelecidas 5 macrorregiões sojícolas (MRS), sendo a MRS 1 (Sul), MRS 2 (Centro-Sul), MRS 3 (Sudeste) MRS 4 (Centro-Oeste), MRS 5 (Norte/Nordeste) e 20 regiões edafoclimáticas (RECs) para pesquisa e indicação de cultivares (Kaster; Farias, 2012).

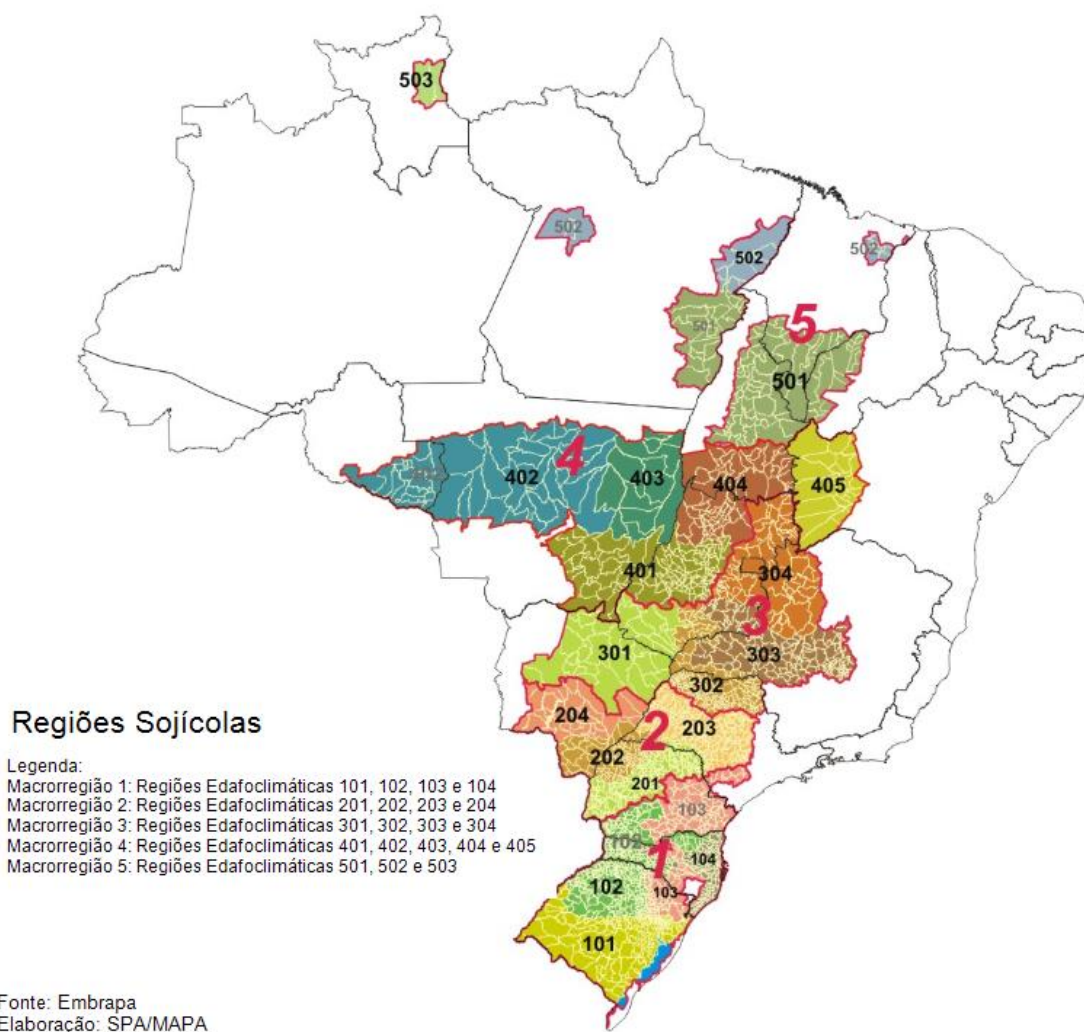


Figura 1. Regiões sojícolas – Ensaios de V.C.U., Terceira Aproximação (Kaster; Farias, 2012).

O ciclo da soja pode variar dentro de cada GM. De acordo com Sousa (2015), os ciclos (número de dias entre a semeadura ou a emergência e a maturação plena ou estágio fenológico R8), podem ser divididos em: precoce, semi-precoce, médio, semi-tardio e tardio. O comportamento diferenciado de um

cultivar pode estar atrelado às demandas fisiológicas, e sobretudo pelos efeitos da interação entre os genótipos e às condições edafoclimáticas.

2.3 A soja no Norte Fluminense

Os primeiros estudos visando selecionar cultivares de soja para as regiões Norte e Noroeste Fluminense foram desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), em Campos dos Goytacazes, no período de 1985 a 1991 (Viana, 1991). Com este trabalho, chegou-se à recomendação de duas cultivares para uso em renovação de canavial da região, a EMGOPA 302 e a OCEPAR 3 (Primavera), com médias de rendimento de 2000 kg ha⁻¹.

Posteriormente, Lima et al. (2009), trabalhando com a cultivar de soja MG/BR 46 (Conquista), em Campos dos Goytacazes, no período de outubro de 2001 a março de 2002, em Latossolo Amarelo, avaliaram a soja em semeadura direta em sucessão a oito adubos verdes e dois manejos (com e sem roço). O manejo de cobertura usando aveia preta sem roço proporcionou rendimento de 3161 kg ha⁻¹ de soja na sucessão, em média 50% superior que as sucessões com mucuna, milho, guandu e sorgo (Lima et al., 2009). Por outro lado, quando utilizado cobertura com milho roçado, o rendimento da soja atingiu 3180 kg ha⁻¹, sendo 116% superior à mucuna.

Em estudo realizado por Lima (2006), utilizando 12 cultivares de soja para uso em rotação com cana-de-açúcar na safra 2004/2005 em área de um Cambissolo na região de Campos dos Goytacazes-RJ e outra de um Argissolo em Quissamã-RJ, as cultivares de maior destaque no sistema de semeadura convencional (SSC) em Campos dos Goytacazes foram: Vencedora (3080 kg ha⁻¹), Conquista (2884 kg ha⁻¹), Monsoy 6101 (2953 kg ha⁻¹), Emgopa 316 (3010 kg ha⁻¹) e BRS 133 (3593 kg ha⁻¹). No sistema de semeadura direta (SSD) as cultivares de melhor desempenho foram: Vencedora (4340 kg ha⁻¹), Monsoy 6101 (3261 kg ha⁻¹) e Emgopa 302 (3196 kg ha⁻¹). Quando avaliadas em Quissamã, as cultivares destaques para o SSC foram: Vencedora (1262 kg ha⁻¹), Conquista (1585 kg ha⁻¹), Monsoy 6101 (2171 kg ha⁻¹), Emgopa 316 (1523 kg ha⁻¹) e Foscarin (1402 kg ha⁻¹); já no SSD se destacaram as cultivares Conquista (1900 kg ha⁻¹), Emgopa 316 (1811 kg ha⁻¹) e Foscarin (1560 kg ha⁻¹).

Depois deste trabalho de Lima (2006), da safra 2004/2005, não se tem mais relatos na literatura de resultados e/ou indicações de genótipos de soja para o cultivo nas regiões Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro. Neste intervalo de tempo surgiram novas cultivares e tecnologias, e muitas das testadas e citadas anteriormente não se encontram no mercado.

Perante a atual situação da agropecuária nesta região, e do potencial de produção de soja, percebe-se que a seleção de cultivares adaptadas e produtivas é um gargalo a ser resolvido pela pesquisa, principalmente repetindo tais pesquisas em diferentes locais e diferentes épocas de semeadura. Semeadas em diferentes épocas, os materiais genéticos expressam suas potencialidades em relação às condições do ambiente, as quais mudam no espaço e no tempo (Amorim et al., 2011). Ao escolher uma determinada época de semeadura, o produtor escolhe uma combinação entre a fenologia da cultura e a distribuição dos elementos do clima na região de produção, que poderá resultar em elevado ou reduzido rendimento (Amorim et al., 2011). Semeaduras em épocas inadequadas pode causar redução drástica no rendimento, bem como dificultar a colheita mecânica de tal modo que as perdas, nesta operação, possam chegar a níveis muito elevados. Isto ocorre devido as alterações na altura da planta, altura de inserção das primeiras vagens, número de ramificações e acamamento (Fiss, 2015).

As pesquisas desenvolvidas com a soja no Norte Fluminense apresentaram produção favorável, com início da semeadura em outubro, com ênfase para a rotação/sucessão de culturas e o uso de irrigação suplementar em alguns casos (Lima, 2006; Lima et al., 2009). Grande parte do sucesso da semeadura nos decêndios de outubro e novembro é devido ao histórico climático, que demonstrou balanço hídrico positivo, com maior frequência de precipitação pluviométrica na região (INMET, 2022), permitindo umidade favorável do solo para germinação e estabelecimento da cultura.

No município de Campos dos Goytacazes, na safra 2018/2019, Guareschi et al. (2019), avaliaram 39 cultivares de soja em três ambientes, com destaque para as cultivares BRS 317 e M 5917 IPRO, com rendimento de 3969 e 3714 kg ha⁻¹, respectivamente, valores acima do rendimento médio de grãos da soja no Brasil em 2019 (3394 kg ha⁻¹), (CONAB, 2019), demonstrando assim potencial produtivo de algumas cultivares. Outro ponto de destaque destas pesquisas recentes com a soja na região, é a utilização da prática de inoculação das sementes em todos os

experimentos, com inoculantes comerciais ou produzidos na Embrapa Agrobiologia, contendo *Bradyrhizobium*, também foi utilizada a coinoculação com *Azospirillum*, na maioria dos experimentos (Batista et al., 2020; Zilli et al., 2022), com resultados satisfatórios para o suprimento de N ao longo de todo ciclo, sem necessidade de aplicação de fertilizante nitrogenado, o que contribui para a considerável redução dos custos de produção.

A soja tem sido cultivada em áreas comerciais, desde a Safra 2018/2019, na região de Macaé e atualmente em Campos, visando suprir inicialmente as demandas locais para a alimentação animal. Estudos recentes indicaram que a região Norte Fluminense com suas diversas classes de solo, possui áreas totalmente mecanizáveis devido ao relevo, tendo sido selecionados e indicados mais de 300 mil hectares com potencial para a cultura de soja e milho no (Zilli et al., 2021) (Figura 2).

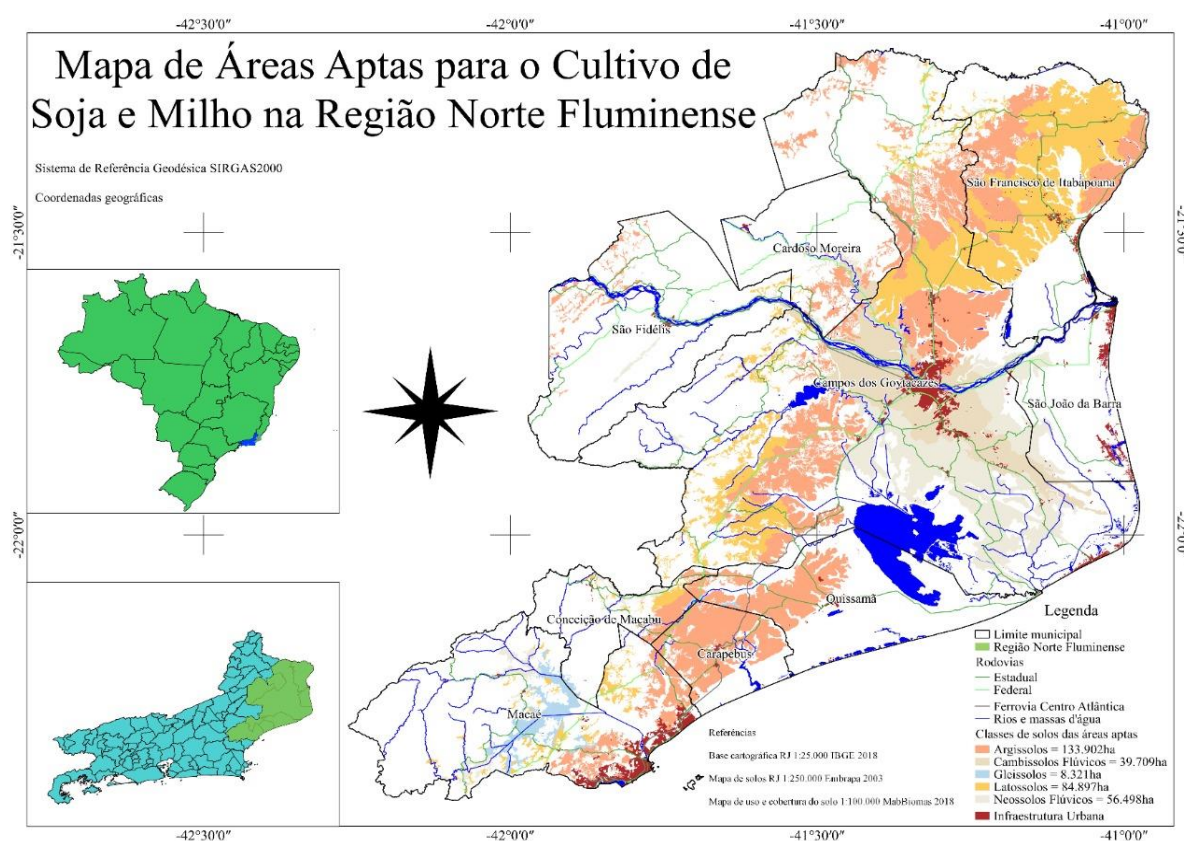


Figura 2. Solos das áreas consideradas potenciais para o cultivo de soja e milho na região Norte Fluminense, selecionadas a partir do mapa de solos do estado do Rio de Janeiro, na escala 1:250.000. (Zilli et al., 2021, p.25).

Recentemente, pesquisas com a soja na região tem apontado dezenas de cultivares com rendimento economicamente viável (Zilli et al., 2022), com áreas em ampla expansão e comercialmente semeadas (atualmente na safra 2022/2023). Além de Macaé, o município de Campos dos Goytacazes tem apresentado áreas de cultivo, contribuindo para a geração de emprego e possibilidade de desenvolvimento de uma cadeia agroindustrial.

2.4 Interação Genótipo x Ambiente

As expressões fenotípicas das plantas são resultado da ação do genótipo influenciado pelo ambiente, somadas à interação genótipo x ambiente (IGA), assim, um mesmo genótipo pode apresentar diferenças fenotípicas em função das variações as quais são submetidos durante o cultivo, ou seja, essa interação de efeitos genéticos e não genéticos causa diferenças de desempenhos relativos de genótipos em diferentes ambientes (Osei et al., 2018; Possobom et al., 2020).

A obtenção de genótipos mais produtivos, que superem com vantagens os já existentes, é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético, tendo em vista as diferentes demandas dos produtores e do mercado. Além de agregar ganhos em rendimento, é desejável que novas cultivares apresentem também outras características superiores, por isso é essencial a busca contínua em aumentar a frequência dos alelos favoráveis destes materiais por melhoristas e geneticistas de plantas (Olivoto, 2019).

Em função da diversidade de clima (variações de precipitação, temperatura e umidade relativa) e solo que ocorrem nas diferentes regiões produtoras, a recomendação de cultivares é desafiadora, sobretudo pelo comportamento diferencial de um genótipo quando cultivado em diversos ambientes, devido principalmente aos efeitos da interação genótipo x ambiente (IGA) (Zakir, 2018; Egea-Gilabert et al., 2021). A IGA é definida como o comportamento diferencial dos genótipos frente às características dos ambientes, assumindo assim papel importante na expressão fenotípica (Zakir, 2018).

A IGA afeta os processos fisiológicos, e conseqüentemente o rendimento agrícola (Possobom et al., 2020), como a produção de grãos, que é considerada a principal característica de interesse. Ela influencia também nos aspectos de tomada de decisão nas fases do melhoramento, como por exemplo, a identificação dos

ambientes de experimentação mais relevantes, a alocação de recursos financeiros, e a escolha do germoplasma (de Leon et al., 2016).

Por isso, avaliações em diversos locais, anos e épocas de semeadura são fundamentais para entender e atenuar os efeitos indesejáveis da IGA. Contudo, pesquisas que contemplem avaliações em multiambientes são essenciais para o sucesso no lançamento e recomendação de novos genótipos (Yue et al., 2022). Diversos estudos demonstraram ferramentas úteis para selecionar e recomendar cultivares com alto desempenho, ampla adaptação e que tenham estabilidade produtiva, sendo fundamentais para o sucesso e produção de culturas agrícolas de interesse econômico (Islam et al., 2016; Balakrishnan et al., 2016; Possobom et al., 2020; Silva et al., 2022).

2.5 Avaliação da adaptabilidade e estabilidade

A seleção e recomendação de matérias genéticas podem se tornar bastante desafiadoras, sobretudo pela presença da interação genótipo x ambiente (IGA), o que pode influenciar significativamente nas respostas e classificação de desempenho destes genótipos (Ahakpaz et al., 2021). Portanto, a adaptabilidade e estabilidade são parâmetros úteis para avaliar a IGA, e possibilita identificar genótipos mais produtivos. De acordo com Borém et al. (2017), a estabilidade é definida como a capacidade do genótipo ser previsível, mesmo sob as variações ambientais (tenha menor variação média nos ambientes), e seja mais adequada para diversos locais. Já a adaptabilidade pode ser definida como a capacidade do genótipo em aproveitar, vantajosamente aos estímulos ambientais, podendo produzir satisfatoriamente em qualquer ambiente específico (Balakrishnan et al., 2016).

Diversas metodologias têm sido utilizadas para a análise da interação $G \times A$, visando estimar a adaptabilidade e estabilidade produtiva, baseadas em diferentes princípios estatísticos, dentre elas: regressão linear (Eberhart; Russell, 1966; Cruz et al., 1989), análise dos modelos aditivos com interação multiplicativa, AMMI (Khan et al., 2021), modelos mistos via REML/BLUP e Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos (MHPRVG) (Resende, 2016), e modelos com efeitos principais do genótipo e efeitos da interação com o ambiente (GGE *Biplot*).

Na metodologia de modelo misto REML/BLUP, o REML (Restricted Maximum Likelihood), ou seja, a estimativa de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita, e o BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), melhor predição linear não viciada, permitem estimar o valor genotípico, com base na suposição de que quanto menor o desvio-padrão do comportamento do genótipo entre os locais, maior a média harmônica de seus valores genotípicos nos ambientes de avaliação (Cruz et al., 2021).

A adaptabilidade e estabilidade via REML/BLUP é feita a partir de três parâmetros: a média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), que ordena os genótipos pelo rendimento e estabilidade; a performance relativa dos valores genotípicos (PRVG), seleciona genótipos para maior adaptabilidade genotípica; e a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), avalia simultaneamente, o rendimento, a estabilidade e a adaptabilidade dos genótipos (Resende, 2016). A MHPRVG permitiu ranquear e selecionar com sucesso grupo de genótipos em diferentes ambientes e culturas agrícolas (Milioli et al., 2018; Cruz et al., 2021; Dutra Filho et al., 2021).

Utilizando modelos mistos (REML/BLUP) e GGE *Biplot*, Albuquerque et al. (2022) avaliaram 21 genótipos de soja em quatro safras agrícolas, concluindo que ambas as metodologias são adequadas para estudar a interação G x A, fornecendo resultados complementares. A importância da natureza dos dados e o agrupamento são fundamentais na estimativa e aplicação dos modelos, uma vez que dados balanceados (mesmo número de genótipos nos diferentes ambientes) permitiram a obtenção de estimativas confiáveis com o uso de modelos lineares mistos (Cruz et al., 2021; Dutra Filho et al., 2021).

A adaptabilidade e estabilidade pode ser medida também pelo método GGE *Biplot*, pois permite agrupar o efeito do genótipo com o efeito multiplicativo da interação G x A, por meio da interpretação de gráficos (Yan, 2011; Bosi et al., 2022). Essa metodologia auxilia na recomendação de genótipos de melhor desempenho, identifica também o genótipo ideótipo (altamente produtivos e estáveis), além do ranqueamento por rendimento e estabilidade produtiva, pode ainda determinar os ambientes mais discriminantes e representativos (Cruz et al., 2020; Ruswandi et al., 2021). Nesse contexto, a abordagem dos modelos mistos e GGE *Biplot* são aplicados em pesquisas com a soja, com ampla aceitação entre os melhoristas, tendo apresentado resultados confiáveis na recomendação de genótipos em

diversas condições de cultivo (Follmann et al., 2019; Gonçalves et al., 2020; Silva et al., 2022; Albuquerque et al., 2022).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Ambientes

O estudo foi realizado na região Norte Fluminense, entre outubro a março, durante as safras 2019/2020 e 2020/2021, nos municípios de Macaé e Campos dos Goytacazes, totalizando cinco ambientes (combinação de local x safra). Na Tabela 1 encontra-se descrita as características edafoclimáticas de cada ambiente. O clima regional pela classificação de Köppen é considerado como Aw, com verão chuvoso e inverno seco (Kottek et al., 2006), e temperatura média anual em torno de 24°C, com pequena variação da amplitude térmica (INMET, 2022).

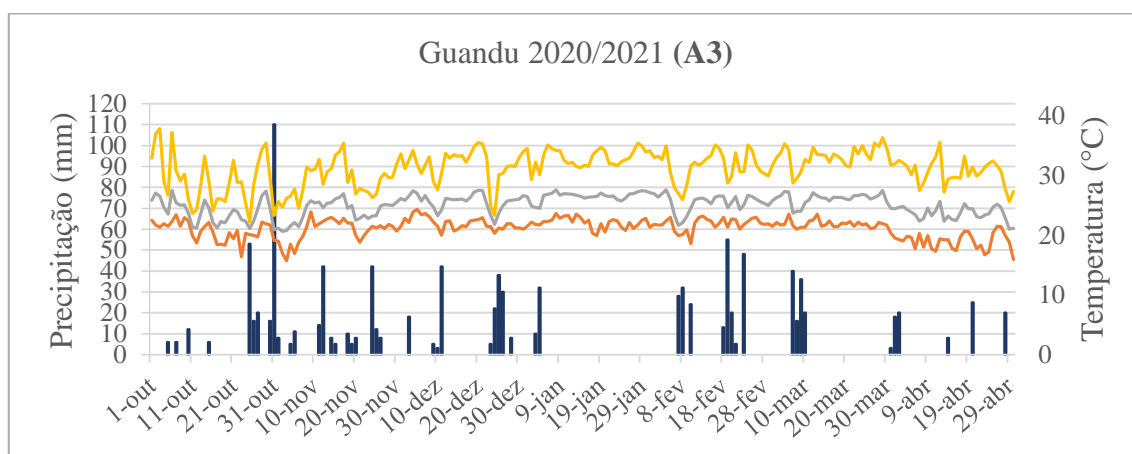
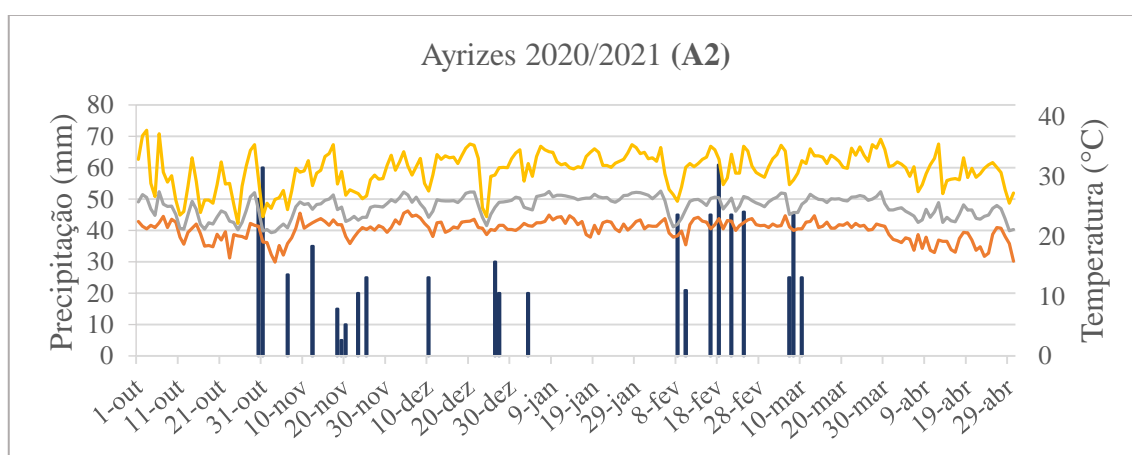
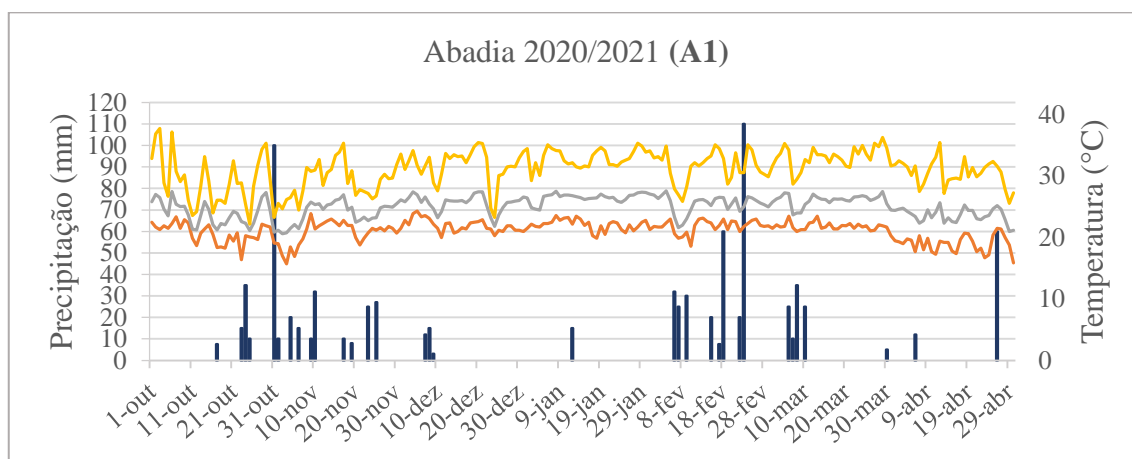
Tabela 1. Características de solo e clima de cada ambiente onde foram avaliados diferentes genótipos de soja nas safras 2019/2020 e 2020/2021

Ambiente	Código	Local	Município	Safra	Coordenadas	Altitude	Classificação do solo*
A1	ABD 20-21	Abadia	Campos dos Goytacazes	2020/2021	21°43'40.6"S 41°12'40.9"W	7 m	CAMBISSOLO FLÚVICO
A2	AYR 20-21	Ayrizes	Campos dos Goytacazes	2020/2021	21°45'41.4"S 41°15'21.5"W	8 m	CAMBISSOLO FLÚVICO
A3	GUA 20-21	Guandu	Campos dos Goytacazes	2020/2021	21°33'47"S 41°18'51.8"W	48 m	LATOSSOLO AMARELO
A4	PRI 19-20	Primus	Macaé	2019/2020	22°17'14.6"S 41°55'33.1"W	13 m	GLEISSOLO HÁPLICO
A5	PRI 20-21	Primus	Macaé	2020/2021	22°17'15"S 41°54'01.5"W	11 m	GLEISSOLO HÁPLICO

* Com os critérios e parâmetros (Santos et al., 2018).

*Dados não publicados.

Os dados de temperatura durante o período de realização dos experimentos foram obtidos a partir de estações meteorológicas instaladas nos municípios, e os dados de precipitação pluviométrica foram coletados através de pluviômetros instalados em cada experimento, e apresentados na Figura 3. A semeadura em todos os locais foi realizada no último decêndio do mês de outubro de cada Ano/Safra.



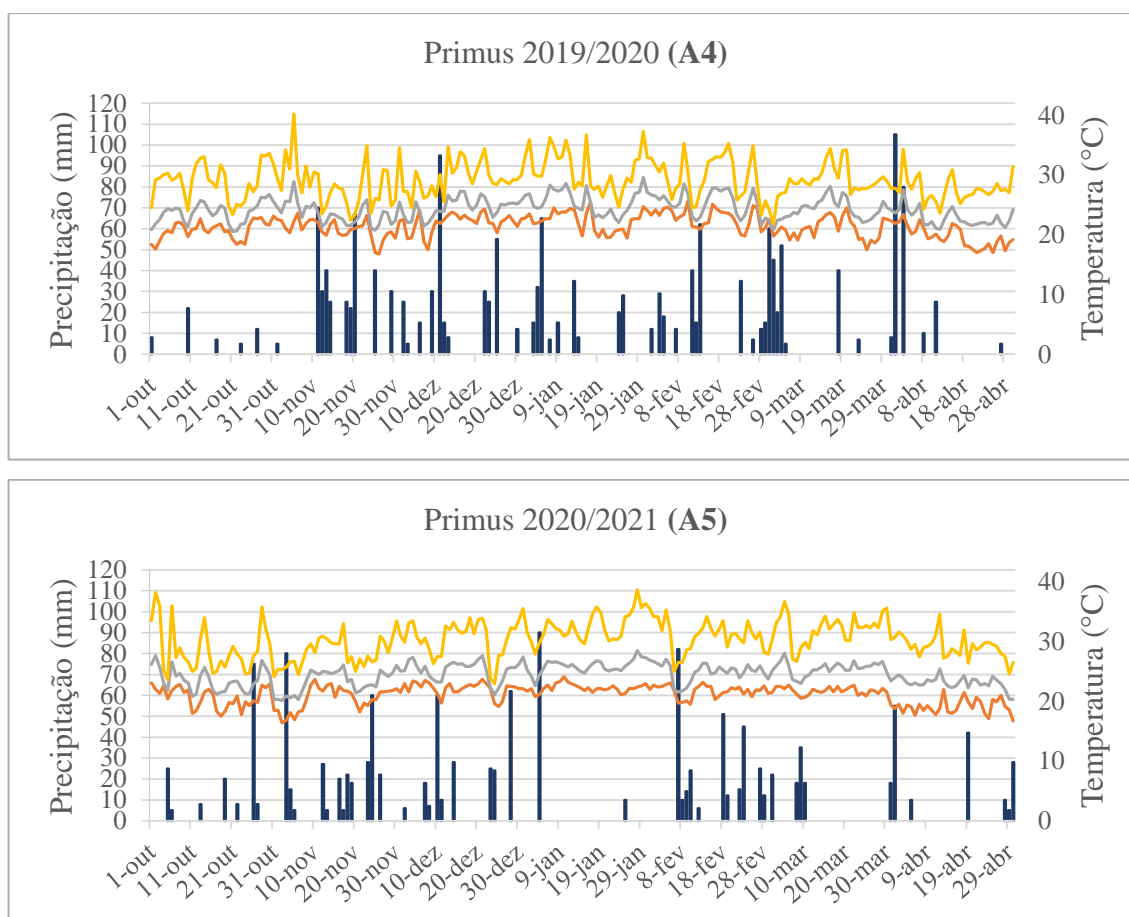


Figura 3. Precipitação, temperaturas do ar mínima, média e máxima dos ambientes onde foram avaliados os diferentes genótipos de soja na região Norte Fluminense, nos anos de 2019, 2020 e 2021. A1, A2 e A3: Campos dos Goytacazes-RJ e A4, A5: Macaé-RJ. Fonte: (INMET, 2022 e fazendas).

Os solos foram analisados quanto à fertilidade, cujos resultados das análises antes da correção se encontram na Tabela 2. As análises físicas e químicas de rotina realizadas nas amostras de solo seguiram metodologia da Embrapa (Teixeira et al., 2017). O solo foi preparado com aração e gradagem, seguido da incorporação de calcário mais gesso para correção de acidez e neutralização de Al^{+3} em profundidade, além do fornecimento de enxofre. Tais procedimentos foram realizados baseando-se nas necessidades da cultura em cada área, de acordo com o Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro e exigências da cultura (Freire et al., 2013; Seixas et al., 2020). A adubação foi de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 80 kg ha^{-1} de K_2O , aplicados na semeadura, de acordo com as recomendações para a cultura da soja (Sediyama et al., 2015; Seixas et al., 2020).

Tabela 2. Análise química e granulométrica dos solos nas áreas de condução dos experimentos antes da semeadura das cultivares de soja

Análises	Unidade	Abadia (2020/2021)		Ayrizes (2020/2021)		Guandu (2020/2021)		Primus (2019/2020)		Primus (2020/2021)	
		0,0-0,2 m	0,2-0,4 m	0,0-0,2 m	0,2-0,4 m	0,0-0,2 m	0,2-0,4 m	0,0-0,2 m	0,2-0,4 m	0,0-0,2 m	0,2-0,4 m
pH	água	5,5	5,2	5,1	5,2	5,3	5,4	4,9	4,7	5,3	4,8
C	%	1,99	0,58	1,69	0,94	0,8	0,6	1,84	1,07	1,81	0,72
MO	%	3,43	1,0	2,91	1,62	1,4	1,1	3,17	1,84	3,11	1,24
P	mg dm ⁻³	4	1	5	3	6,0	3,0	38	13	58	11
K	cmol _c dm ⁻³	0,26	0,08	0,25	0,07	0,06	0,03	0,26	0,11	0,44	0,36
Ca	cmol _c dm ⁻³	4,3	4,7	3,7	3,7	1,2	1,6	2,6	1,3	5,9	2,1
Mg	cmol _c dm ⁻³	3,3	3,3	2,5	2,5	0,6	0,6	1,5	0,8	3,7	1,0
H+Al	cmol _c dm ⁻³	4,6	3,0	4,32	3,31	3,0	2,7	6,0	4,7	3,9	3,7
Na	cmol _c dm ⁻³	0,23	0,04	0,13	0,12	0,02	0,03	0,08	0,07	0,2	0,17
Al	cmol _c dm ⁻³	0,1	0,0	0,21	0,17	0,2	0,0	1,4	2,2	0,1	0,5
CTC	cmol _c dm ⁻³	12,7	11,2	10,9	9,5	4,9	4,9	10,4	7	14,1	7,2
t	cmol _c dm ⁻³	8,2	8,0	6,8	6,4	2,1	2,3	5,8	4,5	10,3	4,1
V	%	63,7	74,0	60,4	65,2	38,3	45,2	42,5	32,7	73	50
SB	%	8,10	8,11	6,6	6,2	1,9	2,3	4,4	2,3	10,2	3,6
m	%	1,2	0,0	3,1	2,7	9,7	0,0	24	49,1	1,0	11
Fe	mg dm ⁻³	93,0	219,0	64,8	82,8	32,1	30,5	177	82,3	-	-
Cu	mg dm ⁻³	1,9	2,7	1,9	1,9	0,5	0,2	2	1,6	-	-
Zn	mg dm ⁻³	4,3	2,6	4,8	2,4	2,6	1,9	2,4	1,7	-	-
Mn	mg dm ⁻³	57,2	18,8	40,2	22,8	6,4	3,2	6,9	2,1	-	-
Argila	g kg ⁻¹	380	432	350	417	252	346	510	250	193	186
Areia	g kg ⁻¹	102	51	189	132	705	608	350	140	441	504
Silte	g kg ⁻¹	518	517	461	451	43	46	140	610	366	310

3.2 Delineamento experimental e genótipos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por cinco linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas em 0,5 m entre si, totalizando 12,5 m², e densidade média de semeadura de 16 sementes por metro linear. Para semeadura utilizou-se semeadora tratorizada Baldan Speed Box 4000[®] e semeadora manual para grãos graúdos KNAPIK[®]. Em todos os experimentos foi realizada a inoculação das sementes com inoculantes comerciais e também produzidos na Embrapa Agrobiologia, contendo *Bradyrhizobium* (turfoso) e coinoculação com *Azospirillum* (líquido). Primeiramente, aplicou-se o inoculante líquido junto às sementes, misturando-os bem, e em seguida foi adicionado o inoculante turfoso, homogeneizando e deixando secar à sombra. Utilizou-se para cada experimento, cerca de seis doses de inoculantes de *Bradyrhizobium* por hectare, o que garante uma concentração de 1,5 a 2 milhões de células por semente de soja e uma dose de *Azospirillum*, de cerca de 100 mL ha⁻¹ (Zilli et al., 2022). A semeadura ocorreu logo após o processo de inoculação.

Os genótipos de soja utilizados neste estudo foram oriundos da parceria com a Embrapa Soja e também adquiridos da iniciativa privada (Tabela 3)

Tabela 3. Descrição dos diferentes genótipos de soja utilizados nos experimentos no Norte Fluminense, nas safras 2019/2020 e 2020/2021

Genótipos	GMR*	Tipo de crescimento	Evento transf. genética	Cor da flor	Cor da pubescência vagens
BMX ZEUS IPRO	5.5	Indeterminado	Intacta RR2PRO	Branca	Marrom clara
M 5917 IPRO	5.9	Indeterminado	Intacta RR2PRO	Roxa	Cinza
P 95R95 IPRO	5.9	Indeterminado	Intacta RR2PRO	Roxa	Cinza
TMG 7061 IPRO	6.1	Indeterminado	Intacta RR2PRO	Roxa	Cinza
BRS 544 RR	6.2	Indeterminado	RR	Branca	Cinza
BMX GARRA IPRO	6.3	Indeterminado	Intacta RR2PRO	Roxa	Cinza
BMX COMPACTA IPRO	6.5	Indeterminado	Intacta RR2PRO	Roxa	Cinza
BRS 7780 IPRO	7.7	Semi-determinado	Intacta RR2PRO	Roxa	Cinza

* GMR: Grupo de Maturidade Relativa, segundo Alliprandini et al. (2009); Cavassim, (2014).

** Evento de transformação genética, RR: soja geneticamente modificada tolerante ao herbicida glifosato (Soja Roundup Ready) e Intacta RR2PRO: soja geneticamente modificada resistente a insetos e tolerante ao herbicida glifosato. Descritores de acordo com Registro Nacional de Cultivares/MAPA e detentores genéticos.

A colheita dos experimentos foi realizada na maturação plena em R8, dentro da área útil que consistiu em três metros de três linhas centrais, excluindo-se um metro das extremidades das fileiras. A trilha e debulha das vagens foi realizada em trilhadora mecanizada, sendo os grãos pesados em balança de precisão. O rendimento de grãos (kg ha^{-1}) foi estimado com ajuste de umidade para 13% de umidade, determinado pelo método de estufa de secagem a 105°C para 24h (BRASIL, 2009)

3.3 Análise genética e estatística

O estudo da adaptabilidade e estabilidade foi realizado utilizando as metodologias de modelo misto (REML/BLUP) e análise multivariada GGE *Biplot*.

3.4 Metodologia REML/BLUP

Para avaliar o efeito da interação genótipo e ambiente ($G \times A$), utilizou-se o modelo misto REML/BLUP, com base no modelo estatístico 54 do software Selegen (Resende; Duarte, 2007, Resende, 2016), correspondente a $y = Xb + Zg + Wc + e$, onde y , b , g , c e e correspondem, respectivamente, aos vetores de valores observados, efeitos de blocos dentro de diferentes ambientes (fixo), efeito de genótipos (aleatório), efeitos da interação $G \times A$ (aleatório) e erros aleatórios; X , Z e W são as matrizes de incidência para b , g e c , respectivamente. As distribuições e estruturas assumidas de médias (E) e variâncias (Var) foram as seguintes:

$$E = \begin{bmatrix} y \\ g \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{Var} \begin{bmatrix} g \\ c \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_c^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

O ajuste do modelo foi obtido a partir das equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + 1\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + 1\lambda_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{g} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}$$

Onde $\lambda_1 = \sigma_e^2/\sigma_g^2 = (1 - h^2_g - c^2) / h^2_g$; $\lambda_2 = \sigma_e^2 / \sigma_c^2 = (1 - h^2_g - c^2) / c^2_g$; em que: $h^2_g = \sigma_g^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2)$ corresponde à herdabilidade individual, no sentido amplo no bloco; $c^2 = \sigma_c^2 / (\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_e^2)$ corresponde ao coeficiente de determinação

dos efeitos da interação genótipo x ambiente; σ^2_g é a variância genética entre os genótipos de soja; σ^2_c é a variância da interação genótipo x ambiente; σ^2_e é a variância residual; c^2_g é o coeficiente de determinação dos efeitos genotípicos; $r_{gloc} = \sigma^2_c / (\sigma^2_g + \sigma^2_c) = h^2_g / (h^2_g + c^2)$ corresponde à correlação genotípica dos genótipos, através dos ambientes.

A significância dos efeitos foi realizada pela análise de deviance, através do teste da razão de verossimilhança, que considera a distribuição X^2 (Resende, 2016). Os seguintes parâmetros foram estimados: variância genotípica (V_g), variância da interação G x A (V_{ga}), variância residual (V_e), variância fenotípica (V_f), acurácia seletiva (A_c), coeficiente de determinação da interação G x A (c^2_{ga}), correlação genotípica entre ambientes (r_{ga}), coeficiente de variação genotípica (CV_g), coeficiente de variação experimental (CV_e), coeficiente de variação relativo (CV_g/CV_e), média geral (μ). Essa análise foi realizada com o software Selegen.

Com base no modelo utilizado, foram obtidos os preditores BLUP empíricos (eBLUP ou REML/BLUP) dos valores genotípicos livres da interação com ambiente ($\mu + g_i$), em que μ é a média de todos os ambientes e g_i é o efeito genotípico livre da interação genótipo x ambiente. Para cada ambiente j , os valores genotípicos (V_g) foram preditos por $\mu + g_i + g_{eij}$, onde μ é a média do ambiente j , g_i é o efeito genotípico e g_{eij} é o efeito de a interação G x A relativo ao genótipo i . A predição dos valores genotípicos que leva em consideração a interação média nos ambientes (g_{em}) nos diferentes ambientes é dada por $\mu_j + g_i + g_{em}$, por modelos de equação (Resende 2007, Dutra Filho et al., 2021).

A média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) ordena os genótipos pelo rendimento e estabilidade; a performance relativa dos valores genotípicos (PRVG) seleciona genótipos para maior adaptabilidade genotípica; e a média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) avalia simultaneamente, o rendimento de grãos dos genótipos de soja, a estabilidade e a adaptabilidade, que são expressos pelas equações abaixo, respectivamente:

$$MHVG = n / \sum_{j=1}^n 1/V_{g_{ij}}$$

$$PRVG = 1/n \sum_{j=1}^n V_{g_{ij}}/M_j$$

$$\text{MHPRVG} = n / \left(\sum_{j=1}^n x \right) / Vg_{ij}$$

Onde n é o número de locais ($n=5$), em que o genótipo i foi avaliado; Vg_{ij} é o valor genotípico do genótipo i no ambiente j , expresso como a proporção da média desse ambiente; M_j é a média do rendimento de grãos no ambiente j . As análises foram realizadas com o software Selegen (Resende, 2016).

3.5 Análise multivariada GGE *Biplot*

A adaptabilidade e a estabilidade do rendimento de grãos foram avaliadas pelo método GGE *Biplot*, (Yan et al., 2007; Yan, 2011). A análise foi baseada em informações das médias genotípicas, considerando o seguinte modelo: $\bar{Y}_{ij} - \mu = G_i + A_j + GA_{ij}$, onde \bar{Y}_{ij} representa o valor genotípico do genótipo i no ambiente j ; μ é a média geral das observações; G_i é o efeito principal do genótipo i ; A_j é o efeito principal do ambiente j ; e GA_{ij} é o efeito da interação genótipo x ambiente.

O modelo GGE *Biplot* não separa o efeito do genótipo do efeito da interação (G x A), mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos, representados pela expressão: $Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{i1} + g_{i2}e_{i2} + \varepsilon_{ij}$, em que Y_{ij} é o rendimento de grãos esperado do genótipo i no ambiente j ; μ é a média geral das observações; β_j é o efeito principal do ambiente j ; g_{i1} e e_{i1} são as principais pontuações do genótipo i e ambiente j , respectivamente; g_{i2} e e_{i2} são os escores secundários para o genótipo i e ambiente j , respectivamente; e ε_{ij} é o resíduo não explicado de ambos efeitos.

Os gráficos GGE *Biplot* foram construídos por meio da dispersão simples de g_{i1} e g_{i2} para genótipos e e_{i1} e e_{i2} para ambientes, por decomposição do valor singular, de acordo com a equação: $Y_{ij} - Y_j = \lambda_1 \varepsilon_{i1}\rho_{j1} + \lambda_2 \varepsilon_{i2}\rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$, em que λ_1 e λ_2 são os maiores autovalores do primeiro componente principal (CP1) e do segundo componente principal (CP2), respectivamente; ε_{i1} e ε_{i2} são os autovalores do genótipo i para o CP1 e CP2, respectivamente; e ρ_{j1} e ρ_{j2} são os autovalores do ambiente j para CP1 e CP2, respectivamente (Yan; Tinker, 2006; Yan; Kang, 2002). As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico R, a partir das funções disponíveis no pacote *Metan* (R Development Core Team 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de deviance para rendimento de grãos revelou os efeitos de genótipos como não significativos (Tabela 4). Já a interação entre os genótipos e ambientes (IGA) foi significativa ($p < 0,01$), o que indica resposta diferenciada dos genótipos quando submetidos aos diferentes ambientes (combinação de local e ano). Interações significativas também foram encontradas em trabalhos com soja (Carneiro et al., 2019; Albuquerque et al., 2022). O efeito significativo da IGA mostra que o rendimento médio de grãos é distinto e que a classificação dos genótipos pode ter alteração entre os ambientes avaliados. Assim, sugere-se que a seleção de genótipos de melhor desempenho deva ser específica ao ambiente e não deve ser realizada em função do desempenho médio. Dessa maneira, a IGA influencia a seleção de genótipos nas etapas programas de melhoramento e a recomendação de cultivares.

O rendimento de grãos é uma característica quantitativa e, portanto, de natureza poligênica, ou seja, resultante da expressão de muitos genes com pequeno efeito e muito influenciado pelo ambiente (Takahashi, 2014). A variância fenotípica do rendimento de grãos foi explicada principalmente pela IGA. Ela contribuiu com cerca de 80% da expressão fenotípica, seguida da variância genotípica (aproximadamente 1%) e variância residual (19%) na variância total (Tabela 4). Os componentes de variância da interação foram superiores ao componente de variância genotípica, demonstrando assim que houve maior

influência da interação sobre a variância total, corroborando com tais estimativas em trabalhos com soja (Albuquerque et al., 2022).

A acurácia de seleção (A_s) é um parâmetro que está associado à precisão de seleção e acurácia experimental, pois mensura a correlação entre os valores genotípicos preditos a partir dos dados experimentais e os valores genotípicos verdadeiros. A acurácia foi de 0,18; o que é considerado de baixa magnitude para esse estudo. Por sua vez, valores altos de acurácia ($>0,70$) foram encontrados na estimativa de parâmetros genéticos em soja, principalmente pela utilização de linhagens, em experimentos realizados por Torres et al. (2018) e Gonçalves et al. (2020). O coeficiente de variação experimental (C_{Ve}), é um dos métodos mais aceitos para comparar a precisão experimental. Nesse trabalho, o C_{Ve} foi de 10,76 % (Tabela 4), valor dentro da faixa aceita para C_{Ve}, e inferior em comparação com outros experimentos com soja sob diferentes condições edafoclimáticas (Torres et al. 2018; Moitinho 2021), indicando assim, por esse parâmetro, boa condição para seleção nas condições estudadas.

Com relação à razão (C_{Vg}/C_{Ve}), a condição ideal é que esse valor seja o maior possível, porque indica maior efeito da variabilidade genética, contudo, nesse estudo, a relação foi baixa, o que evidencia reduzida variabilidade genética, demonstrando que a maior parte da variação fenotípica foi devida à variação ambiental. Gonçalves et al. (2020), ao avaliar dezesseis genótipos de soja em oito ambientes, encontraram coeficiente relativo menor que 1,0. Isso indica que o caráter rendimento de grãos interage mais fortemente com variações ambientais.

O coeficiente de determinação da interação genótipo e ambiente (c^2_{ga}), indica o quanto cada componente contribui para a variância fenotípica total. Assim, a interação genótipo x ambiente contribuiu com 80% da interação na variância fenotípica total. Já, a correlação genotípica entre ambientes (r_{ga}) foi baixa, com valor de 0,1; indicando comportamento diferente dos genótipos e locais, nesse caso, é comum a predomínio de interação do tipo complexa (Costa et al., 2015), e como consequência há dificuldade no ordenamento e recomendação das cultivares de melhor desempenho (Olivoto et al., 2019).

Tabela 4. Análise de deviance, teste qui-quadrado (χ^2), estimativa dos componentes de variância e parâmetros genéticos para rendimento de grãos de oito genótipos de soja avaliados em cinco ambientes na região Norte Fluminense

Efeito	Deviance ⁽¹⁾	LRT (Qui-quadrado) ⁽²⁾
Genótipo (G)	1924,79	0.00 ^{ns}
Interação Genótipo x Ambiente (G x A)	2045,72	120,93 ^{**}
Completo	1924,79	
Componentes de variância e parâmetros genéticos		
Variância genotípica (Vg)	3726,70	
Variância da interação G x A (Vga)	518077,23	
Variância ambiental (Va)	124612,87	
Variância fenotípica (Vf)	646416,80	
Acurácia de seleção (As)	0,18	
Coef. de determinação da interação G x A (c ² ga)	0,80	
Correlação genotípica entre ambientes (rga)	0,01	
Coeficiente de variação genotípica (CVg)	1,86	
Coeficiente de variação experimental (CVe)	10,76	
Coeficiente de variação relativo (CVg/CVe)	0,17	
Média Geral (μ): kg ha ⁻¹	3281,15	

⁽¹⁾ Deviance do modelo ajustado o referido efeito. ⁽²⁾ LRT, teste de razão de verossimilhança.

^{**}, * Significativo pelo teste de Qui-quadrado a ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$) respectivamente.

4.1 Valores genotípicos para rendimento de grãos

A Tabela 5 apresenta a classificação dos valores genotípicos dos oito genótipos para rendimento de grãos para os cinco ambientes de cultivo, sendo o rendimento médio de 3281,15 kg ha⁻¹. Os genótipos de maiores destaques foram: P 95R95 IPRO, M 5917 IPRO, BMX COMPACTA IPRO e BRS 7780 IPRO, pois apresentaram maiores rendimentos de grãos (3294,97; 3286,56; 3285,74 e 3285,32 kg ha⁻¹, respectivamente), sendo os de maiores valores genotípicos para o ambiente sem efeito interação G x A ($\mu + g$). Quando os valores genotípicos ($\mu + g$) são usados para classificação de genótipos, eles podem ser aplicados em ambientes diferentes daqueles onde foram avaliados, uma vez que nesta estimativa não é capitalizada o efeito da interação G x A (Maia et al., 2009; Gonçalves et al., 2014). Dessa forma, é esperada a mesma resposta para a média em diferentes ambientes.

O ganho genético foi de até 13,82 kg ha⁻¹ para o genótipo P 95R95 IPRO, o que proporcionou uma nova média de 3294,97 kg ha⁻¹ para rendimento de grãos. Todos os genótipos selecionados pela nova média seguiram o mesmo ranqueamento daqueles selecionados pelo valor genotípico livre da interação ($\mu + g$). Dentre os genótipos avaliados, 87,5% apresentaram nova média acima da média geral, exceto o genótipo BRS 544 RR que apresentou menor rendimento de grãos (3259,41 kg ha⁻¹).

Aplicando o valor genotípico médio nos ambientes ($\mu + g + g_{em}$), onde a interação genótipo e ambiente é capitalizada, a classificação dos melhores genótipos teve a mesma ordem daqueles selecionados pelos maiores valores genotípicos livre da interação ($\mu + g$), com destaque para cinco genótipos: P 95R95 IPRO, M 5917 IPRO, BMX COMPACTA IPRO, BRS 7780 IPRO e TMG 7061 IPRO, cujos valores ultrapassam a média de rendimento de grãos (Tabela 5). Os cinco melhores genótipos selecionados em todos ambientes, considerando o valor genotípico médio dos ambientes, obtido para produção de grãos, superaram a média nacional de rendimento da soja na safra 2019/2020 (CONAB, 2022), demonstrando que a estratégia de seleção poderá ser utilizada por esse método. Apesar das duas seleções serem semelhantes em relação ao ranqueamento, os valores preditos são sempre maiores para média nos ambientes, porém essa superioridade só será capitalizada se os genótipos forem cultivados em condições edafoclimáticas próximas da interação entre genótipos e ambientes do presente trabalho (Gonçalves et al., 2014).

Tabela 5. Ranqueamento e valores genotípicos preditos livre da interação com ambientes para a característica rendimento de grãos de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes ao longo das safras 2019/2020 e 2020/2021

Ordem	Genótipo	g	$\mu + g$	Ganho ⁽¹⁾	Nova Média	$\mu + g + g_{em}$
1	P 95R95 IPRO	13,82	3294,97	13,82	3294,97	3679,30
2	M 5917 IPRO	5,41	3286,56	9,62	3290,77	3437,02
3	BMX COMPACTA IPRO	4,59	3285,74	7,94	3289,09	3413,36
4	BRS 7780 IPRO	4,17	3285,32	7,00	3288,15	3401,31
5	TMG 7061 IPRO	4,02	3285,17	6,40	3287,56	3396,96
6	BMX GARRA IPRO IPRO	-3,32	3277,83	4,78	3285,93	3185,45
7	BMX ZEUS IPRO	-6,95	3274,20	3,11	3284,26	3081,05
8	BRS 544 RR	-21,75	3259,41	0,00	3281,15	2654,78

Média: 3281,15 kg ha⁻¹

g: efeito genético aditivo; $\mu + g$: valor genotípico predito (livre da interação); ⁽¹⁾ ganho genético (kg ha⁻¹); $\mu + g + g_{em}$: valor genotípico médio nos ambientes.

Uma outra forma de selecionar os genótipos é considerar o desempenho para cada local específico, e isso é feito através da análise dos valores genotípicos preditos em cada ambiente ($u + g + ge$). É possível verificar que houve alteração na ordem dos melhores genótipos em função do local de cultivo, mostrando efeito da interação $G \times A$.

Pelos valores genotípicos preditos para rendimento de grãos em todos os ambientes, verifica-se que o genótipo BRS 7780 IPRO foi o de melhor desempenho nos ambientes A2 (Ayrizes), A3 (Guandu) e A4 (Primus 2020/2021) (Tabela 6), sendo os dois primeiros locais em Campos dos Goytacazes, e o último em Macaé. O genótipo P 95R95 IPRO teve destaque entre os três primeiros melhores genótipos selecionados em Campos dos Goytacazes (Abadia) e nos dois ambientes de Macaé (Tabela 6 e Figura 4), sendo também destaque no ranqueamento com base na média de rendimento em todos os ambientes, representado pelo valor genotípico livre da interação ($\mu + g$).

Em trabalho com soja na região Norte Fluminense, Zilli et al. (2022) avaliaram cinquenta e quatro cultivares de soja ao longo de 5 safras, sendo as cultivares BRS 7780 IPRO e P 95R95 as que apresentaram rendimento de grãos acima de 6000 kg ha⁻¹ no Norte Fluminense. Em 11 avaliações nesta mesma região, o genótipo P 95R95 apresentou média de 3743 kg ha⁻¹, desempenho próximo aos estimados pela metodologia dos valores genotípicos (Tabela 5). Os resultados obtidos com essas cultivares mostrou alguma adaptação às condições da região, proporcionando rendimentos de grãos acima da média nacional atual. Quando a interação $G \times A$ é considerada, ou seja, capitalizada ($\mu + g + g_m$), recomenda-se que os genótipos sejam cultivados em áreas com mesmo padrão de interação genótipo e ambiente usados nesta rede experimental.

Os ganhos em rendimento de grãos dos três melhores genótipos em cada localidade (valores em negrito) (Tabela 6), em relação à média de cada local, são de 18, 21, 9, 10 e 17% para os ambientes Abadia, Ayrizes, Guandu, Primus 2019/2020 e Primus 2020/2021, respectivamente. Por sua vez, os menores rendimentos de grãos foram encontrados no município de Campos: com 2608 kg ha⁻¹ (Abadia), 2031 kg ha⁻¹ (Ayrizes) e 1344 kg ha⁻¹ (Guandu) (Tabela 6).

No conjunto de ambientes testados, os maiores rendimentos de grãos foram observados no município de Macaé, com rendimento médio de 5638 kg ha⁻¹ (safra 2019/2020) e 4782 kg ha⁻¹ (safra 2020/2021), respectivamente. Todos os genótipos

(exceto BRS 544 RR na safra 2020/2021) em Macaé, alcançaram rendimento de grãos maiores do que a média nacional da safra 2019/2020, que foi de 3379 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). O genótipo BRS 7780 IPRO apresentou a maior rendimento de grãos (6263 kg ha⁻¹), na Primus 2019/2020. Em contrapartida, M 5917 IPRO teve o pior desempenho produtivo, com 1002 kg ha⁻¹ na localidade de Guandu (A3), em Campos dos Goytacazes. Guareschi et al. (2022) em experimentos nesta mesma região, observaram maiores rendimentos de grãos no município de Macaé em relação a Campos dos Goytacazes. Os menores rendimentos de grãos foram observados em Campos, devido a ocorrência de veranicos, mas foram observadas características agrônômicas satisfatórias para as cultivares BRS 5980 IPRO, BRS 7780 IPRO, MS 5917 IPRO, P95R95 IPRO e NS 5909 RR.

A diferença em rendimento para cada ambiente pode estar atrelada às peculiaridades climáticas e solo de cada localidade. Observa-se que em todas as fazendas o volume acumulado de precipitação ao longo das safras atende, em teoria, a necessidade para a cultura. Esses valores de precipitação das fazendas estão acima do valor mínimo da necessidade total de água exigidos para a cultura da soja que, varia entre 450 a 800 mm/ciclo fenológico, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do seu ciclo (Neumaier et al., 2020).

Por outro lado, observa-se diferença marcante na distribuição da precipitação pluviométrica em cada localidade, com chuvas melhores distribuídas no município de Macaé em relação à Campos (Tabela 7). Os dados de temperatura mostraram valores de máxima geralmente maiores (média de 31,0°C) em Campos em comparação à Macaé (média de 29,6°C) (Figura 3), valores dentro do padrão de aceitação e que, de forma preliminar, demonstraram não afetar o desenvolvimento da cultura.

Tabela 6. Estimativas dos valores genotípicos do rendimento de grãos de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021 na região Norte Fluminense

Genótipo	A1	A2	A3	A4	A5	Ambiente médio
	$\mu + g + ge$	$\mu + g + ge$	$\mu + g + ge$	$\mu + g + ge$	$\mu + g + ge$	($\mu + g$)
P 95R95 IPRO	3297,97	2136,94	1399,78	6251,72	5306,72	3294,97
M 5917 IPRO	2807,58	2134,50	1002,48	5060,66	6178,58	3286,56
BMX COMPACTA IPRO	2776,88	2399,64	1373,54	6153,34	4362,26	3285,74
BRS 7780 IPRO	1345,56	2788,55	1504,71	6263,37	5103,36	3285,32
TMG 7061 IPRO	2451,54	2197,37	1439,51	5578,28	5317,13	3285,17
BMX GARRA IPRO IPRO	2783,74	1481,65	1384,12	5287,97	4990,57	3277,83
BMX ZEUS IPRO	3120,33	1541,57	1450,05	4432,07	4862,89	3274,20
BRS 544 RR	2287,66	1568,41	1199,20	6081,91	2141,95	3259,41
Média (kg ha ⁻¹)	2608,91	2031,08	1344,17	5638,66	4782,93	3281,15

$\mu + g + ge$: valores genotípicos capitalizados pela interação com os ambientes.

A1: Faz. Abadia Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A2**: Faz. Ayrizes Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A3**: Faz. Guandu Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A4**: Faz. Primus, Macaé Safra 2019/2020; **A5**: Faz. Primus, Macaé Safra 2020/2021.

O ganho em produção foi estimado pela seleção dos três melhores genótipos em cada local (representado pelos valores em negrito).

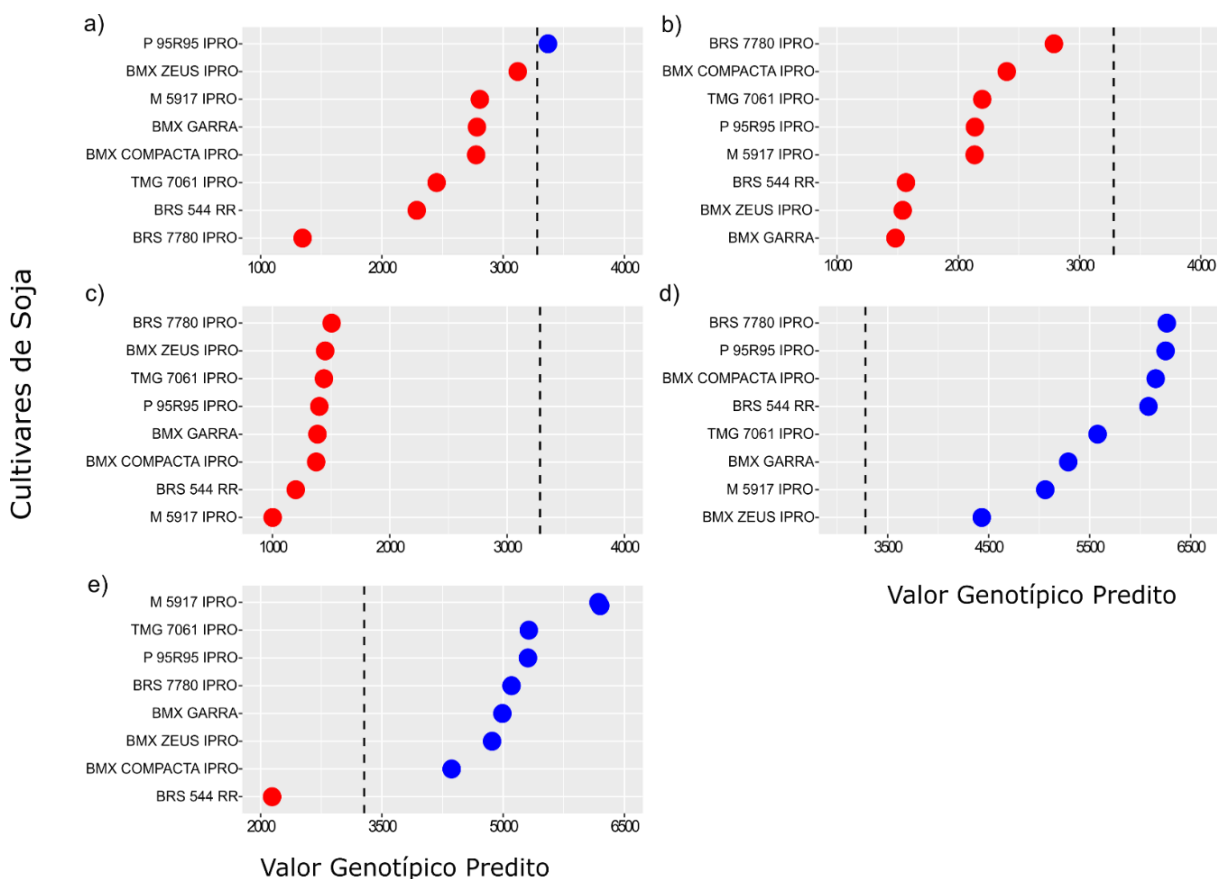


Figura 4. Estimativa de valores genotípicos médios ($\mu + g + g_e$) para rendimento de grãos de oito genótipos de soja avaliados em cinco ambientes: **(a)** A1: Faz. Abadia Safrá 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **(a)** A2: Faz. Ayrizes Safrá 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **(c)** A3: Faz. Guandu Safrá 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **(d)** A4: Faz. Primus, Macaé Safrá 2019/2020; **(e)** A5: Faz. Primus, Macaé Safrá 2020/2021.

4.2 Distribuição de chuvas durante o período dos experimentos

Na Tabela 7 são apresentados os dados da precipitação pluviométrica em cada ambiente de cultivo com a soja entre 2019 e 2021, no Norte Fluminense. Considerou-se o período entre outubro e abril de cada ano/safrá, com dados de precipitação coletados em cada local onde foram realizados os experimentos. O somatório das chuvas ocorridas a cada dez dias consecutivos (decêndios) é apresentado ao longo das safras. A opção por decêndios foi baseada nos modelos usados para zoneamento agroclimático para diversas culturas no país.

O menor desempenho no rendimento grãos no município de Campos ocorreram devido à má distribuição de chuvas, com a ocorrência de veranico no

último decêndio de dezembro (Abadia), e em janeiro (Ayrizes e Guandu), o que provocou abortamento de vagens e restrição ao enchimento de grãos, seguido de um período com excesso de umidade, pelo retorno das chuvas ao final de fevereiro, prejudicando, sobretudo cultivares com ciclo médio a tardio, que ainda não haviam encerrado o ciclo fisiológico para colheita.

No ambiente A3 (Guandu), os rendimentos de grãos foram muito baixos e a cultivar que apresentou menor desempenho foi a M 5917 IPRO (Tabela 6 e Figura 4), com 1002 kg ha⁻¹. Conforme já relatado anteriormente, os três ambientes de Campos passaram pelas mesmas dificuldades expostas. O número de genótipos testados foi maior do que o apresentado no presente trabalho, fato que traduz na não colheita de alguns genótipos, devido principalmente ao abortamento de vagens e intenso sintomas de haste verde e retenção foliar.

Na fase de formação de vagens (R3) e enchimento de grãos (R5/R6) (Fehr e Caviness, 1977), a cultura foi drasticamente prejudicada pelo intenso veranico, ocorrido nos três ambientes de Campos, sendo mais intenso na fazenda Guandu (A3), com mais de 20 dias sem precipitação em janeiro. Como o solo da localidade de Guandu é mais arenoso e com menores teores de matéria orgânica em relação à Abadia e Ayrizes (Tabela 2), alguns genótipos foram mais prejudicados pelo maior estresse térmico e hídrico nessa fase. Sobretudo, devido à condição de solo para baixa capacidade de retenção de água (classe textural franco-argilo arenosa) e consistência muito dura (coesão) a partir de 10 cm de profundidade, caráter comum nos solos da formação Barreiras (Tabuleiros Costeiros). Outro fator prejudicial é a ocorrência de picos de altas temperaturas entre janeiro e fevereiro, com média das máximas superior a 31°C (Figura 3).

Tabela 7. Distribuição da precipitação pluviométrica por decêndios nos diferentes ambientes de cultivo da soja ao longo das safras 2019/2020 e 2020/2021

Período *	Mês **	Dias	Ambientes				
			A1	A2	A3	A4	A5
28	outubro	1 a 10	0	0	24	30	30
29		11 a 20	8	0	6	28	7
30		21 a 31	160	110	215	91	17
31	novembro	1 a 10	87	26	24	100	5
32		11 a 20	18	65	92	97	279
33		21 a 30	52	45	62	110	70
34	dezembro	1 a 10	30	25	26	91	75
35		11 a 20	0	0	42	38	118
36		21 a 31	0	50	103	111	122
1	janeiro	1 a 10	0	20	42	90	134
2		11 a 20	15	0	0	0	43
3		21 a 31	0	0	0	10	48
4	fevereiro	1 a 10	87	66	84	130	71
5		11 a 20	88	106	88	69	117
6		21 a 29	130	91	53	97	69
7	março	1 a 10	95	95	112	93	182
8		11 a 20	0	0	0	0	40
9		21 a 31	5	0	3	18	120
10	abril	1 a 10	12	0	38	65	115
11		11 a 20	0	0	33	42	0
12		21 a 30	60	0	20	43	5
Total (mm)			846	699	1067	1353	1667

A1: Faz. Abadia Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A2:** Faz. Ayrizes Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A3:** Faz. Guandu Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A4:** Faz. Primus, Macaé Safra 2019/2020; **A5:** Faz. Primus, Macaé Safra 2020/2021.

* de acordo com distribuição de decêndios ZARC/MAPA (2022). Disponível em: (<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/documentos/tabela-de-periodo-de-plantio-do-zarc.pdf>).

** meses de outubro, novembro e dezembro referem-se ao primeiro ano indicado na Safra. Os demais meses indicam o segundo ano da respectiva safra.

4.3 Adaptabilidade e estabilidade produtiva

4.3.1 Média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) via modelo REML/BLUP

Na Tabela 8 encontra-se o desempenho dos genótipos para a estabilidade (MHVG), adaptabilidade genotípica (PRVG e PRVG μ) e a estabilidade e adaptabilidade simultâneas (MHPRVG e MHPRVG μ) para a característica rendimento de grãos de soja nos diferentes ambientes de estudo. Segundo Borém et al. (2017), o conceito atribuído à estabilidade é definido como a capacidade do genótipo apresentar-se altamente previsível, mesmo sob influências de variações ambientais, já a adaptabilidade é entendida como sua capacidade de aproveitar, vantajosamente, as variações do ambiente.

A média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) classifica os genótipos quanto aos valores de rendimento e estabilidade, assim, quanto menor o desvio-padrão do desempenho genotípico entre os ambientes, maior o valor da MHVG (Gonçalves et al., 2014). Segundo esse critério, os genótipos de maior destaque são: P 95R95 IPRO, BMX COMPACTA IPRO, TMG 7061 IPRO, BMX ZEUS IPRO e BRS 7780 IPRO, sendo que quatro estão entre os cinco melhores classificados pela análise conjunta dos valores genotípicos (excluindo M 5917 IPRO), mostrando que há certa concordância entre estas metodologias.

A performance relativa dos valores genotípicos (PRVG) estima a adaptabilidade dos valores nos diferentes ambientes, desta forma, os valores genotípicos são expressos como uma razão da média geral para cada local. Por esta metodologia, os genótipos de maior destaque são: P 95R95 IPRO, BMX COMPACTA IPRO, TMG 7061 IPRO, BRS 7780 IPRO, o que significa que estes genótipos têm capacidade de responder às melhorias das condições do ambiente. Observa-se que as três melhores cultivares recomendadas pela MHVG são as mesmas pela PRVG (Tabela 8).

As cultivares P 95R95 IPRO, BMX COMPACTA IPRO e TMG 7061 IPRO se destacaram na seleção simultânea quanto ao rendimento de grãos, estabilidade e adaptabilidade, sendo classificadas nas três primeiras posições. Os resultados de MHVG, PRVG e MHPRVG mostram que dois dos três melhores genótipos corresponderam aos três de maior rendimento pela média dos ambientes associadas ao valor genotípico predito (Tabela 6). Os ordenamentos desses

genótipos foram os mesmos de acordo com as metodologias do valor genotípico predito livre da interação ($\mu + g$) e da MHPRVG, corroborando com o ranqueamento de diferentes linhagens e cultivares comerciais de soja (Gonçalves et al., 2020). De acordo com Cruz et al. (2021), essa condição está associada à seleção de genótipos com maior estabilidade e adaptabilidade ao conjunto de ambientes testados por vez. Isso indica que esses genótipos apresentaram alto rendimento produtivo, maior contribuição adaptativa e previsibilidade em meio aos cinco ambientes da região Norte Fluminense, o que significa, a manutenção destas características frente às variações locais. É possível observar certa manutenção da ordem dos materiais nas três metodologias, o que indica que os métodos possuem mais uma vez, certo grau de concordância no ordenamento dos genótipos.

Os três melhores genótipos pelo critério MHPRVG μ (MHPRVG multiplicada pela média geral em todos os locais), tiveram rendimento de grãos de 3641 kg ha⁻¹ (P 95R95 IPRO), 3434 kg ha⁻¹ (BMX COMPACTA IPRO) e 3394 kg ha⁻¹ (TMG 7061 IPRO), representando superioridade sobre a média geral (3281 kg ha⁻¹) em 11; 5 e 3%, respectivamente. Gonçalves et al. (2020) avaliaram adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de soja através de modelo misto REML/BLUP, em duas safras e oito ambientes, encontraram resultados semelhantes, quanto à seleção via MHPRVG e ganhos genéticos preditos, com concordância na classificação dos melhores genótipos. Já os ganhos em relação à média foram superiores ao encontrado no presente trabalho.

A metodologia MHPRVG considera os efeitos dos genótipos como aleatórios, tendo a vantagem também de trabalhar com dados desbalanceados, com a heterogeneidade das variâncias e diferentes números de ambientes para a seleção (Resende et al., 2007). É fundamental que os novos materiais genéticos e cultivares atuais sejam estáveis ao longo dos anos agrícolas, garantindo ganho genético, além de contribuir como fonte genética para cruzamentos em programas de melhoramento.

Tabela 8. Estabilidade genotípica (MHVG), adaptabilidade genotípica (PRVG e PRVG μ), estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (MHPRVG e MHPRVG μ) quanto ao rendimento de grãos (kg ha⁻¹) de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021

Genótipo	MHVG	Genótipo	PRVG	PRVG μ	Genótipo	MHPRVG	MHPRVG μ
P 95R95 IPRO	2726,33	P 95R95 IPRO	1,12	3659,04	P 95R95 IPRO	1,11	3641,65
BMX COMPACTA IPRO	2636,24	BMX COMPACTA IPRO	1,05	3459,00	BMX COMPACTA IPRO	1,05	3434,08
TMG 7061 IPRO	2597,38	TMG 7061 IPRO	1,04	3408,10	TMG 7061 IPRO	1,03	3394,78
BMX ZEUS IPRO	2392,27	BRS 7780 IPRO	1,04	3403,15	M 5917 IPRO	0,98	3210,54
BRS 7780 IPRO	2356,29	M 5917 IPRO	1,01	3321,94	BMX GARRA IPRO	0,94	3093,17
BMX GARRA IPRO	2329,79	BMX ZEUS IPRO	0,97	3173,87	BMX ZEUS IPRO	0,94	3074,30
M 5917 IPRO	2291,84	BMX GARRA IPRO	0,96	3154,79	BRS 7780 IPRO	0,93	3039,20
BRS 544 RR	1968,59	BRS 544 RR	0,81	2669,32	BRS 544 RR	0,74	2442,64

MHVG: média harmônica dos valores genotípicos; **PRVG:** performance relativa dos valores genotípicos; **PRVG μ :** performance relativa dos valores genotípicos para rendimento de grãos; **MHPRVG:** média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos; **MHPRVG μ :** média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos para rendimento de grãos.

4.3.2 Metodologia GGE *Biplot*

O gráfico GGE *Biplot* para rendimento de oito genótipos de soja em cinco ambientes encontra-se na Figura 5. Os valores do primeiro componente principal (PC1) e do segundo PC2 foram estimados para gerar o gráfico.

O padrão conhecido como “which-won-where” (“quem-vence-onde”) é apresentado na Figura 5. Por essa análise, é possível avaliar o desempenho dos genótipos por ambiente. De acordo com o gráfico, o polígono foi delimitado pelos genótipos BMX ZEUS IPRO, BRS 544 RR, BRS 7780 IPRO e M 5917 IPRO, localizados nos vértices mais distantes da origem do *Biplot*, portanto com maior desempenho e adaptação mais específica para determinado ambiente. Resultados semelhantes foram encontrados, ao classificar genótipos em ambientes distintos de cultivo (Melkamu et al., 2015; Tefera et al., 2018).

O genótipo BMX ZEUS IPRO apresentou rendimento de grãos superior no ambiente ABD_20/21 e M 5917 IPRO teve melhor rendimento no ambiente PRI_20/21. Por sua vez, BRS 7780 IPRO apresentou maior rendimento em dois locais AYR_20/21 e PRI_19/20. Pelas representações do *Biplot*, os vetores (linhas azuis pontilhadas) que saem do centro (0,0) formaram quatro setores. Nesses setores, os ambientes de avaliação foram divididos em 3 grupos, sendo o primeiro constituído pelo ambiente ABD_20/21, o segundo por PRI_20/21, enquanto AYR_20/21 e PRI_19/20 foram agrupados, formando um mega-ambiente, sendo o genótipo BRS 7780 IPRO o mais produtivo e adaptado ao conjunto de ambientes avaliados. Segundo Yan (2015), o mega-ambiente é definido como uma região ou sub-região de cultivo que se correlacionam, podendo ser bastante homogêneo, com possibilidade de genótipos semelhantes apresentarem melhor desempenho.

O genótipo BRS 544 RR não se localizou em nenhum dos ambientes, demonstrando que ele teve menor rendimento dentre todos. De acordo com Ruswandi et al. (2021), genótipos presentes nos vértices do polígono, mas que não se agrupam em ambientes, além de apresentarem baixo rendimento produtivo não deve ser recomendado. Esse genótipo apresentou a menor rendimento de grãos, via modelos mistos, com menor valor genotípico na média de ambiente (Tabela 6).

A análise GGE *Biplot* permitiu o agrupamento e formação de mega-ambientes, como na avaliação de dezesseis genótipos de soja em oito ambientes na região Meio Norte do Brasil, onde o uso dessa metodologia demonstrou eficácia para entender interação e recomendação de genótipos (Gonçalves et al., 2020). A

formação de mega-ambientes é outra forma de representar a análise GGE *Biplot*, ela permitiu avaliar também o desempenho agrônômico e qualidade nutricional de genótipos convencionais de soja em diferentes municípios de Goiás (Carvalho et al., 2021). Todavia, os autores destacaram que os mega-ambientes foram de importância secundária no estudo, uma vez que foram constituídos por uma combinação ano-local, sugerindo que a caracterização de mega-ambientes necessitaria de validação em várias culturas ou maior número de anos agrícolas.

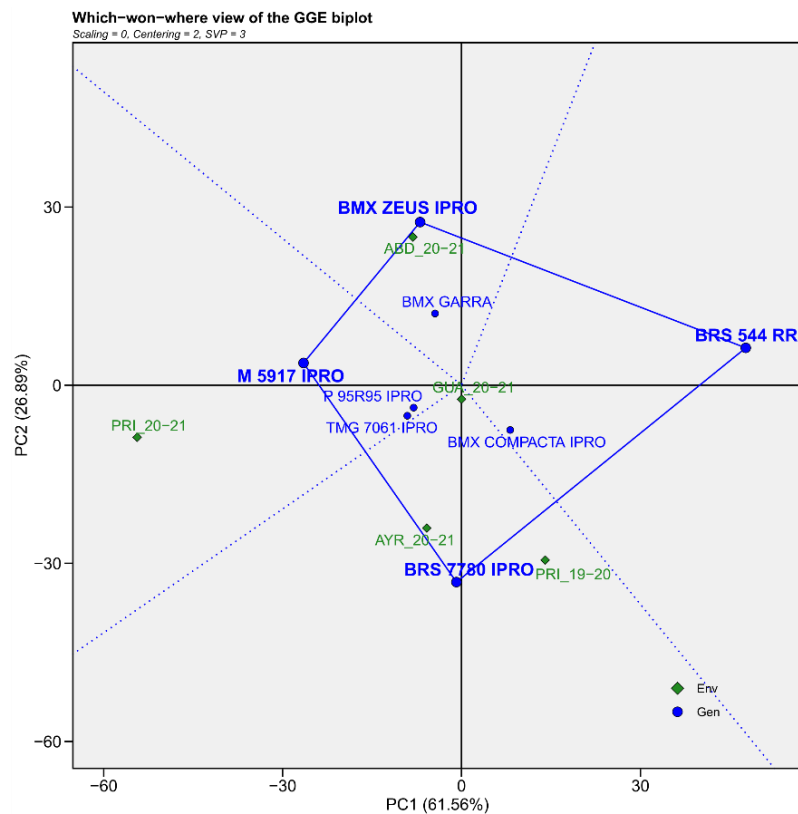


Figura 5. GGE *Biplot* “which-won-where” para rendimento de grãos de oito genótipos de soja avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

A análise GGE *Biplot* “Média versus Estabilidade” pode ser utilizada para selecionar diversos caracteres na área de melhoramento vegetal, sendo o mais comum o rendimento de grãos, considerado a característica mais importante. Desta maneira, avaliou-se não só o rendimento produtivo médio, mas também a estabilidade, com o objetivo de individualizar genótipos com desempenho médio e estável acima da média (Figura 6).

Dada a importância desta característica, a variação no rendimento de grãos foi afetada principalmente pelo efeito conjunto de genótipos e da interação (G + G x A), respondendo por 88,45% da variância total (61,56% PC1 e 26,89% PC2).

No gráfico, é possível recomendar genótipos, considerando através deste modelo os diversos locais e condições edafoclimáticas avaliadas. Neste estudo, a abcissa 'eixo x' é formada pela linha verde contínua com uma única seta, é chamada de "eixo do ambiente médio" (EAM), e a seta aponta para o maior desempenho médio. A segunda linha verde contínua que cruza o EAM, avalia a estabilidade e indica assim maior variabilidade de desempenho (menor estabilidade) em ambas as direções, e quanto maior o comprimento da linha azul pontilhada, mais instável é o genótipo (Yan, 2011).

Os genótipos que apresentaram maior rendimento de grãos, em ordem decrescente foram: BRS 7780 IPRO, M 5917 IPRO, TMG 7061 IPRO e P 95R95 IPRO (Figura 6). Os demais genótipos apresentaram os rendimentos produtivos abaixo da média geral. Por sua vez, os genótipos BRS 7780 IPRO e M 5917 IPRO obtiveram desempenho produtivo acima da média geral, porém são considerados de baixa estabilidade. Os piores para recomendação foram BMX ZEUS IPRO e BRS 544 RR pelo menor rendimento e alta instabilidade.

Além do rendimento, os genótipos TMG 7061 IPRO e P 95R95 IPRO se destacaram pela estabilidade, e em teoria podem ser classificados como genótipos ideais, por apresentarem as duas características simultaneamente (Yan; Kang, 2002), com aptidão para serem recomendados nas áreas potenciais de expansão da soja no Norte Fluminense.

Ao comparar as duas metodologias para rendimento, adaptabilidade e estabilidade, os genótipos estáveis indicados pelo método GGE *Biplot* (TMG 7061 IPRO e P 95R95 IPRO) também foram escolhidos dentre os três primeiros pela média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) (Tabela 8). No entanto, este último, indicou outro genótipo estável: BMX COMPACTA IPRO. Gonçalves et al. (2020) e Albuquerque et al. (2022) em soja, e Santos et al. (2019), em feijão, concluíram que os métodos da MHPRVG e GGE *Biplot* apresentaram resultados concordantes para recomendar linhagens e cultivares. A metodologia MHPRVG é vantajosa por facilitar a interpretação dos dados em relação à análise multivariada, todavia, ressalta-se que ambas são complementares.

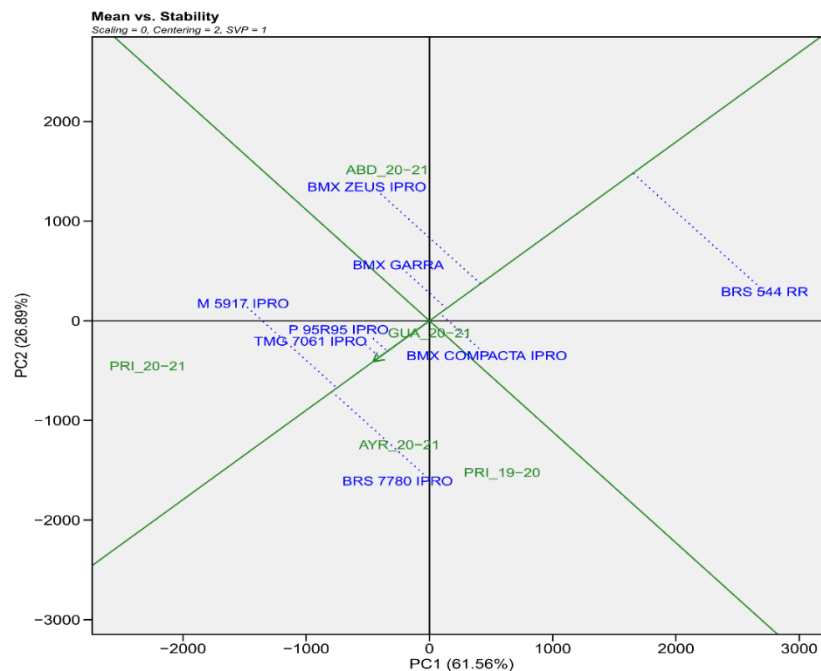


Figura 6. Análise GGE *Biplot* “Média versus Estabilidade” para rendimento de grãos de soja avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

Na análise do genótipo ideal (GI), foram consideradas simultaneamente o desempenho e a estabilidade. O GI com alta produção e estabilidade, é representado pelo vetor mais longo no sentido do centro do círculo, ou seja, aqueles que mais se aproximam do menor círculo concêntrico são os mais desejáveis (Yan, 2016) (Figura 7).

O genótipo TMG 7061 IPRO seguido de P 95R95 IPRO foram os mais próximos do GI em todos os ambientes. P 95R95 IPRO apresentou uma arquitetura vegetal favorável, ou seja, sendo um dos genótipos com o maior número de ramos produtivos no caule principal, com distâncias curta entre internódios. Outro aspecto vantajoso, foi o baixo grau de acamamento (escala de 1 a 5, sendo 5 mais acamado) (Tabela suplementar 6), o que é interessante agronomicamente, sobretudo para solos com maior fertilidade e de baixada, como os que ocorrem nos ambientes (Abadia e Ayrizes em Campos) e (Primus, em Macaé). A presença do dossel com folhas lanceoladas nessa cultivar, confere melhor luminosidade e aeração no terço médio e inferior da planta, contribuindo para menor incidência de doenças e maior potencial produtivo. Portanto, esses dois genótipos apresentados são destaques para o cultivo da soja na região.

Os genótipos M 5917 IPRO e BRS 7780 IPRO apresentaram desempenho abaixo de TMG 7061 e P 95R95 IPRO, por estarem mais distantes do centro do círculo. Os genótipos BMX GARRA IPRO e BMX COMPACTA, situados nos últimos círculos, ou seja, mais distantes do ideótipo, foram os que tiveram menores rendimentos de grãos.

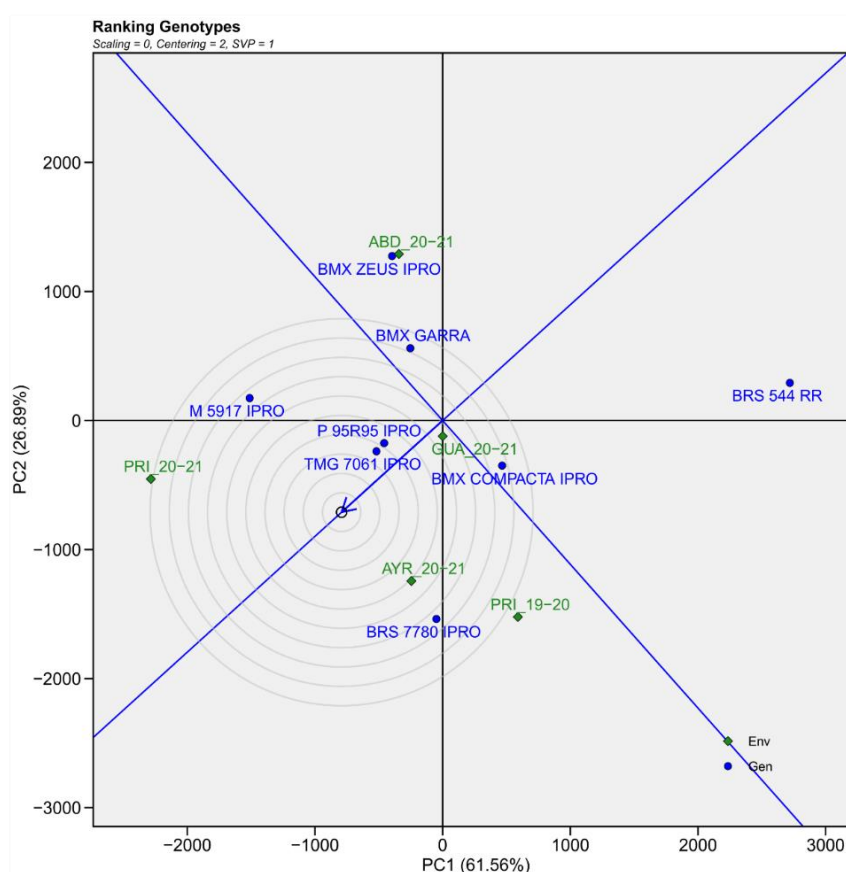


Figura 7. GGE *Biplot* para identificação do genótipo ideal em relação ao rendimento de grãos de soja avaliados em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

A relação entre os ambientes é dada pelo ângulo formado entre os seus respectivos vetores, sendo que o cosseno do ângulo entre estes vetores está relacionado ao coeficiente de correlação entre eles (Santos et al., 2017). Segundo Yan e Tinker (2006); Ruswandi et al. (2021), um ângulo menor que 90° evidencia correlação positiva, vetores formando ângulos maior que 90° expressa correlação negativa, ângulo reto revela associação fraca e, ângulos de 180° indicam correlação forte e negativa.

O maior ângulo ($>90^\circ$) foi entre ABD_20-21 e AYR_20-21 (Figura 8), portanto, esses locais tiveram forte interação genótipo e ambiente. Apesar de AYR

e ABD pertencerem ao município de Campos, esse resultado sugere que a interação resultou de fatores ambientais específicos de cada local. O ângulo de 90° entre ABD_20-21 e PRI_20-21, expressa baixa correlação entre estes ambientes, evidenciando assim diferenças de clima (sobretudo na distribuição de chuvas) e solo, o que reduz a correlação entre fenótipo e genótipo e influencia a seleção de cultivares (Oliveira et al., 2018).

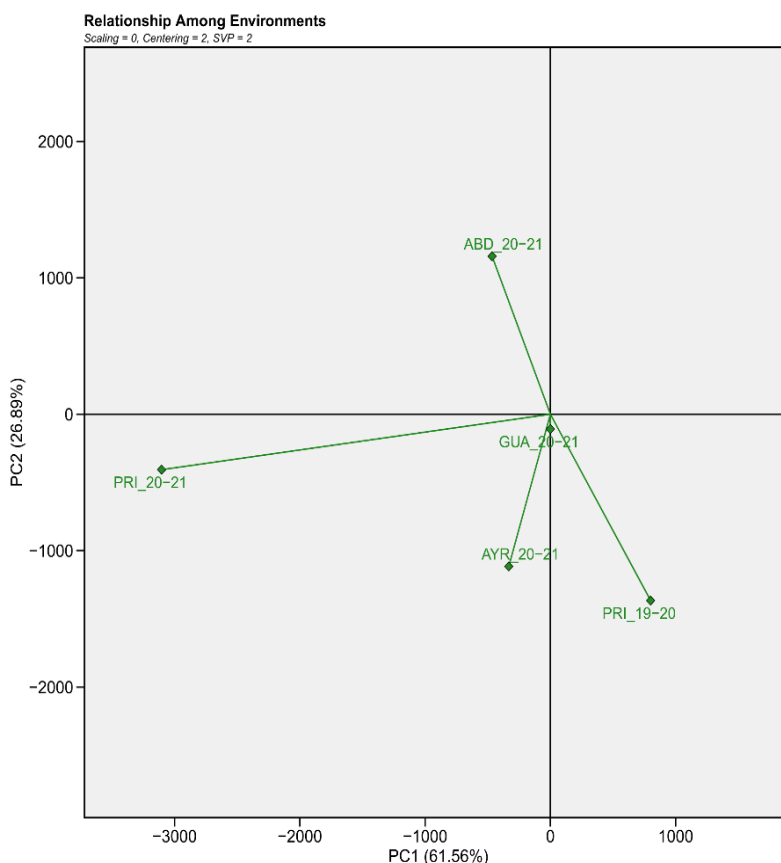


Figura 8. Relação entre os ambientes obtida pelo modelo GGE *Biplot* comparando diferentes genótipos de soja quanto ao rendimento de grãos em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021.

Os ambientes PRI_19-20 e ABD_20-21 expressaram correlação fortemente negativa. Por outro lado, os dois ambientes localizados em Macaé (PRI_19-20 e PRI_20-21) foram correlacionados positivamente com AYR_20-21, pois tiveram ângulo $< 90^\circ$, sugerindo que as mesmas informações sobre esses genótipos possam ser obtidas nesses mesmos locais, o que possibilita por exemplo, redução de custos quanto à avaliação e seleção de genótipos (Yan e Holland, 2010). Resultados de correlações positivas entre ambientes de produção também foram

encontrados por Tefera et al. (2018), utilizando a metodologia GGE *Biplot* para estudos de relação entre ambientes de soja. As correlações positivas entre esses ambientes indicam que existem apenas diferenças de variabilidade entre os genótipos, o que favorece a seleção de indivíduos superiores.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Houve concordância entre as estatísticas do valor genotípico predito livre da interação ($\mu + g$), MHVG (estabilidade e rendimento produtivo) e PRVG (adaptabilidade) com destaque para os genótipos P 95R95 IPRO e BMX COMPACTA IPRO.

Com base na seleção da MHPRVG via REML/BLUP que reúne rendimento, adaptabilidade e estabilidade, é possível sugerir os genótipos P 95R95 IPRO, BMX COMPACTA IPRO e TMG 7061 IPRO para cultivo na região Norte Fluminense.

A metodologia GGE *Biplot* permitiu selecionar os genótipos BRS 7780 IPRO, M 5917 IPRO, TMG 7061 IPRO e P 95R95 IPRO como aqueles de maior rendimento de grãos e acima de média dos ambientes.

As metodologias da MHPRVG via REML/BLUP e GGE *Biplot* concordaram na identificação dos genótipos P 95R95 IPRO e TMG 7061 IPRO, como sendo os mais produtivos e estáveis para a região Norte Fluminense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE – Associação Brasileira Indústrias Óleos Vegetais. Estatística. Disponível em: <http://abiove.org.br/estatisticas>. Acesso em: 01 jun. 2022.
- Ahakpaz, F., Abdi, H., Neyestani, E., Hesami, A., Mohammadi, B., Mahmoudi, K. N., Gholamreza, A., Mohammad, R. J. N., Farzad, A., Hadi, A. (2021) Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. *Agricultural Water Management*, 245:1-9.
- Alam, T., Suryanto, P., Nurmalasari, A. I., Kurniasih, B. (2019) GGE-Biplot analysis for the suitability of soybean varieties in an agroforestry system based on kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) stands. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 34(2): 213-222.
- Albuquerque, J. R. T. de. (2020) *Estudo de cultivares de soja irrigada nas condições do Semiárido*. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Mossoró – RN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, 80p.
- Albuquerque, J. R. T. de. Lins, H. A., dos Santos, M. G., Freitas, M. A. M. D., Oliveira, F. S. D., Souza, A. R. E. D., da Silveira, L. M., Nunes, G. H. S., Barros Júnior, A. P., Vieira, P. F. M. J. (2022) Adaptability and stability of soybean (*Glycine max* L.) genotypes in semiarid conditions. *Euphytica*, 218(5):1-12.
- Alliprandini, L. F., Abatti, C., Bertagnolli, P. F., Cavassim, J. E., Gabe, H. L., Kurek, A., Matsumoto, M. N., Oliveira, M. A. R., Pitol, C., Prado, L. C., Steckling, C. (2009) Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. *Crop Science*, 49(3):801-808.

- Almeida, L. A., Kiihl, R. D. S., de Miranda, M. A. C., & Campelo, G. D. A. (1999) Melhoria da soja para regiões de baixas latitudes. *In: QUEIRÓZ, M. A. de. Goedert, C. O., Ramos, S. R. R. (eds.) Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro*. Brasília: EMBRAPA, p. 73-88.
- Amorim, F. A., Hamawaki, O. T., de Sousa, L. B., Lana, R. M. Q., Hamawaki, C. D. L. (2011) Época de semeadura no potencial produtivo de soja em Uberlândia-MG. *Semina: Ciências Agrárias*, 32:1793-1802.
- Balakrishnan, D., Subrahmanyam, D., Badri, J., Raju, A. K., Rao, Y. V., Beerelli, K., Mesapogu, S., Surapaneni, M., Ponnuswamy, R., Padmavathi, G., Babu, R., Neelamraju, S. (2016) Genotype x Environment interactions of yield traits in backcross introgression lines derived from *Oryza sativa* cv. Swarna/*Oryza nivara*. *Frontiers in Plant Science*, 7:1-19.
- Barros, T. D., Jardine, J. G. Agroenergia - Biodiesel. DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel>. Acesso em: 01 set. 2022.
- Batista, J. N., Silva, E., Souza, E. W. S., da Silva, R. K. G., Mendonça, L. P., Cruz, D., Rocha, R. S., Entringer, G. C., Guareschi, R. F., de Souza Filho B. F., Jantalia, C. P., Zilli, J. E., Gravina, G. A. (2020) Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio na região Norte Fluminense. *Anais do Congresso Fluminense de Pós-Graduação*, 5, Campos dos Goytacazes: Galoá, v.1, p.1-1.
- Borém, A., Miranda G. V., Fritsche-Neto R. (2017) *Melhoramento de Plantas*. 7. ed. Viçosa: UFV, 543p.
- Bosi, S., Negri, L., Fakaros, A., Oliveti, G., Whittaker, A., Dinelli, G. (2022) GGE *Biplot* Analysis to Explore the Adaption Potential of Italian Common Wheat Genotypes. *Sustainability*, 14(2):1-18.
- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROSTAT. Estatísticas de Comércio exterior do Agronegócio Brasileiro. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 01 set. 2022.
- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cultivar Web. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 16 nov. 2019.

- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cultivar Web. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 03 nov. 2022.
- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Legislação. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares-2013-rnc-1/legislacao-1>. Acesso em: 03 nov. 2022.
- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. RAS: Regras para Análise de Sementes. Brasília, DF, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em: 03 dez. 2022.
- BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ZARC: Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>. Acesso em: 01 nov. 2022.
- Câmara, G. M. S. Introdução ao Agronegócio Soja 1. - USP/ESALQ Departamento de Produção Vegetal - novembro/2015. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4484506/mod_resource/content/0/LPV%20584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf. Acesso em: 14 mar. 2021.
- Carneiro, A. K., Bruzi, A. T., Pereira, J. L. D. A. R., Zambiazzi, E. V. (2019) Stability analysis of pure lines and a multiline of soybean in different locations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 19:395-401.
- Carvalho, M. P., Nunes, J. A. R., Carmo, E. L. D., Simon, G. A., Moraes, R. N. O. (2021) Adaptability and stability of conventional soybean by GGE *Biplot* analysis. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 51:1-10.
- Cavassim, J. E. (2014) *Classificação em grupos de maturidade relativa para a soja comparando metodologias de estabilidade*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 109p.

- Chung, G., Singh, R. J. (2008) Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(5):295-341.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2019) SÉRIES HISTÓRICAS DAS SAFRAS. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras#gr%C3%A3os-2>. Acesso em: 18 de out. 2019.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2022) SÉRIES HISTÓRICAS DAS SAFRAS. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras#gr%C3%A3os-2>. Acesso em: 29 out. 2022.
- Costa, J. A. (1996) *Cultura da Soja*. Porto Alegre: Evangraf, 233p.
- Costa, A. F., Leal, N. R., Ventura, J. A., Gonçalves, L. S. A., Amaral Júnior, A. T. D., Costa, H. (2015) Adaptability and stability of strawberry cultivars using a mixed model. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37:435-440.
- Costa, A. P. L. (2021) *Desempenho agrônomo, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados em ensaio preliminar*. Dissertação (Mestrado em genética e Melhoramento de Plantas) – Jaboticabal – SP, Universidade Estadual Paulista – Unesp, 51p.
- Cruz, C. D., Torres, R. A de. Vencovsky, R. (1989) An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, 12(3):567-580.
- Cruz, D. P. D, Gravina, G. D. A., Vivas, M., Entringer, G. C., Rocha, R. S., Jaeggi, M. E. P. C, Daher, R. F. (2020) Analysis of the phenotypic adaptability and stability of strains of cowpea through the GGE *Biplot* approach. *Euphytica*, 216:1-11.
- Cruz, D. P. D., Gravina, G. D. A., Vivas, M., Entringer, G. C., Souza, Y. P. D., Rocha, R. S., Silva, R. D. K. G. D. (2021) Combined selection for adaptability, genotypic stability and cowpea yield from mixed models. *Ciência Rural*, 51(9):1-12.
- De Toledo, J. F. F., Nepomuceno, A. L., Almeida, A., Vilarinho, A. A., Pípolo, A. E., Garcia, A., DIAS, W. (2008) Desenvolvimento de cultivares de soja adaptadas às várias regiões ecológicas e aos vários sistemas de produção. In: SARAIVA, O. F., LEITE, R. M. V. B. de C. (eds.) *Resultados de pesquisa da Embrapa Soja 2006*. Londrina: Embrapa Soja, p. 23-40.
- de Leon, N., Jannink, J. L., Edwards, J. W., Kaeppler, S. M. (2016) Introduction to a special issue on genotype by environment interaction. *Crop Science*, 56(5):2081-2089.

- Dutra Filho, J. D. A., Calsa Júnior, T., Simões Neto, D. E., Souto, L. S., Souza, A. D. S., de Luna, R. G., Costa, M. L. L. (2021) Genetic divergence for adaptability and stability in sugarcane: Proposal for a more accurate evaluation. *Plos One*, 16(7):1-18.
- Dvorjak, D. S., Unêda-Trevisoli, S. H., de Sousa Leite, W., Da Silva, A. J., Da Silva, F. M., Di Mauro, A. O. (2019) Correlations and path analysis in soybean progenies with resistance source to cyst nematode (race 3). *Comunicata Scientiae*, 10(1):168-175.
- Eberhart, S. A.; Russell, W. A. (1996) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6:36-40.
- Egea-Gilabert, C., Pagnotta, M. A., & Tripodi, P. (2021) Genotype x Environment Interactions in Crop Breeding, *Agronomy*, 11(8):1-4.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2013). *Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2014*.1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 265p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2022) Soja em números (safra 2021/22). Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 13 de nov. 2022.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022) Production – Crops. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- Fehr, W. R., Caviness, C. E. (1977) *Stages of soybean development*. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 11p.
- Felici, P. H. N. (2017) *Métodos multivariados no estudo da diversidade genética e adaptabilidade e estabilidade em soja convencional*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Uberlândia – MG, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 92p.
- Ferreira, F. M., Rocha, J. R. D. A. S. D. C., Alves, R. S., Malikouski, R. G., Peixoto, M. A., Oliveira, S. S., Aguiar, A. M., Bhering, L. L. (2021) GGE *Biplot*-based genetic selection to guide interspecific crossing in *Corymbia* spp. *Bragantia*, 80:1-13
- Figueiredo A. (2008) *Caracterização de tipo e raça de populações do nematoide de cisto da soja detectadas no município de Jataí/GO e proximidades por hospedeiros diferenciadores*. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Uberlândia – MG, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 53p.

- Fiss, E. A. de. (2015) *Plasticidade de plantas de soja dentro de uma população e sua relação com a produtividade*. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Pelotas – RS, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, 48p.
- Follmann, D. N., Souza, V. Q., Cargnelutti Filho, A., Demari, G. H., Nardino, M., Olivoto, T., Carvalho, I. R., Silva, A. D. B., Meier, D. M. C. (2019) Agronomic performance and genetic dissimilarity of second-harvest soybean cultivars using REML/BLUP and Gower's algorithm. *Bragantia*, 78:197-207.
- Freire, L. R., Balieiro, F. de C., Zonta, E., Anjos, L. H. C. dos. Pereira, M. G., Lima, E., Guerra, J. G. M., Ferreira, M. B. C., Leal, M. A. de A. Campos, D. V. B., Polidoro, J. C. (2013) *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro*. 1. ed. Seropédica: Editora Universidade Rural, 2013. 430p.
- Gonçalves, G. M., Viana, A. P., Amaral Junior, A. T. D., & Resende, M. D. V. D. (2014) Breeding new sugarcane clones by mixed models under genotype by environmental interaction. *Scientia Agricola*, 71:66-71.
- Gonçalves, G. D. M. C., Ferreira-Gomes, R. L., Lopes, Â. C. D. A., Vieira, P. F. D. M. J. (2020) Adaptability and yield stability of soybean genotypes by REML/BLUP and GGE *Biplot*. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20:1-9.
- Guareschi, R. F., Urquiaga, S., Jantalia, C. P., Zilli, J., Batista, J. N (2019) Aptidão de cultivares de soja às condições edafoclimáticas do Norte Fluminense. *Anais do Congresso Brasileiro de Soja*, 9, Foz do Iguaçu, Embrapa Soja, v.1, p.177-177.
- Guareschi, R. F., Urquiaga, S., Jantalia, C. P., Zilli, J., Batista, J. N (2019) Produtividade de variedades de soja no Norte Fluminense (safra 2018/2019). *Anais da Reunião Anual de Iniciação Científica da UFRRJ*, 7, Seropédica: Coordenação de Pesquisa/Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação UFRRJ, v.1, p.241-241.
- Guerreiro, L. (2006) *Produtos de soja - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro (REDETEC)*. 1. ed. Rio de Janeiro: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), 25p.
- Gupta, V., Kumar, M., Singh, V., Chaudhary, L., Yashveer, S., Sheoran, R., ... & Nagpal, S. (2022) Genotype by Environment Interaction Analysis for Grain Yield of Wheat (*Triticum aestivum* (L.) em. Thell) Genotypes. *Agriculture*, 12(7):1-15.
- Hirakuri, M. H., Conte, O., Prando, A. M., Castro, C. de. Balbinot Júnior, A. A., Campos, L. J. M. (2018) Análise financeira da produção de soja na macrorregião sojícola 5. Disponível em:

[tps://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1103232/1/p6398Doc405OL.pdf](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1103232/1/p6398Doc405OL.pdf).

Acesso em: 18 de out. 2019.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos do INMET (BDMEP). Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

Islam, M. R., Sarker, M. R. A., Sharma, N., Rahman, M. A., Collard, B. C. Y., Gregorio, G. B., Ismail, A. M. (2016) Assessment of adaptability of recently released salt tolerant rice varieties in coastal regions of South Bangladesh. *Field Crops Research*, 190:34-43.

James, A. T., Yang, A. (2016) Interactions of protein content and globulin subunit composition of soybean proteins in relation to tofu gel properties. *Food Chemistry*, 194:284-289.

Kaster, M., Farias, J. R. B. (2012) *Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja - terceira Aproximação*. Londrina: Embrapa Soja, 69p.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006) World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15:259-263

Lima, E. A. de. (2006) *Avaliação fitotécnica e econômica de cultivares de soja em área de reforma de cana-de-açúcar, na região Norte Fluminense*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 80p.

Lima, E. A., Coelho, F. C., de Lima, A. A., Dornelles, M. S., & Garcia, R. F. (2009) Semeadura direta de soja sobre diferentes plantas de cobertura e manejos de palhada, na região Norte Fluminense. *Revista Ceres*, 56(6):790-795.

Maia, M. C. C., Resende, M. D. V. de. Paiva, J. R. de., Cavalcanti, J. J. V., Barros, L. de M. (2009) Seleção simultânea para produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica em clones de caju por modelos mistos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 39:43-50.

Melkamu T., Sentayehu A., Firdissa, E. (2015) GGE *Biplot* GEI, and yield stability analysis of bread wheat genotypes in South East Ethiopia. *World Journal of Agricultural Sciences*, 11(4):183-190.

Milioli, A. S., Zdziarski, A. D., Woyann, L. G., Santos, R. D., Rosa, A. C., Madureira, A., Benin, G. (2018) Yield stability and relationships among stability parameters in

- soybean genotypes across years. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78(2):299-309.
- Moitinho, A. C. R. (2021) *Estimativa de parâmetros genéticos e análise multivariada na seleção de genótipos de soja oriundos do cruzamento de genitores tipo grão x tipo alimento*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Jaboticabal – SP, Universidade Estadual Paulista – Unesp, 50p.
- Najafian, G., Kafashi, A., Jafarnejhad, A. (2010) Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12:213-222.
- Neumaier, N., Farias, J. R. B., Nepomuceno, A. L., Mertz-Henning, L. M., FOLONI, J., Moraes, L. A. C., Gonçalves, S. (2020) Ecofisiologia da soja. In: Seixas, C. D. S.; Neumaier, N.; Balbinot Junior, A. A., Krzyzanowski, F. C., Leite, R. M. V. B. de C. (eds.) *Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, p. 33-54.
- Oda, M. C., Sediyaama, T., Cruz, C. D., Nascimento, M., Matsuo, É. (2022) Adaptability and yield stability of soybean genotypes by mean Eberhart and Russell methods, artificial neural networks and centroid. *Agronomy Science and Biotechnology*, 8:1-13.
- Oliveira, T. R. A. D., Gravina, G. D. A., Oliveira, G. H. F. D., Araújo, K. C., Araújo, L. C. D., Daher, R. F., Vivas, M., Gravina, L. M., Cruz, D. P. D. (2018) The GT *Biplot* analysis of green bean traits. *Ciência Rural*, 48:1-6.
- Olivoto, T. (2019) *Índices de estabilidade genotípica e seleção simultânea multivariada: uma nova abordagem*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Santa Maria – RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 147p.
- Olivoto, T., Lúcio, A. D., da Silva, J. A., Sari, B. G., & Diel, M. I. (2019) Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6):2961-2969.
- Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I. R., Follmann, D. N., Ferrari, M., Szarecki, V. J., Pelegrin, A. J., Souza, V. Q. (2017) REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. *Genetics and Molecular Research*, 16(1):1-19.
- Osei, M. K., Annor, B., Adjebeng-Danquah, J., Danquah, A., Danquah, E., Blay, E., Adu-Dapaah, H. (2018) Genotype x Environment interaction: a prerequisite for tomato

- variety development. *In: Nyaku, S. T., Danquah, A. (eds.) Recent Advances in Tomato Breeding and Production*. London: IntechOpen, p. 1-22
- Passos, M. L. V., Ferreira, L. S., Figueirinha, K. T., Souza, J. B. C., Ferreira, A. D. C., Silva, C. A. A. C., Silva, E. A., Almeida, E. I. B., Freitas, J. R. B., Sousa, W. S. (2019) Growth, productivity and quality of soybean grains, submitted to different seed treatments. *Journal of Agricultural Science*,11(11):174-284.
- Patil, G., Vuong, T. D., Kale, S., Valliyodan, B., Deshmukh, R., Zhu, C., Nguyen, H. T. (2018) Dissecting genomic hotspots underlying seed protein, oil, and sucrose content in an interspecific mapping population of soybean using high-density linkage mapping. *Plant Biotechnology Journal*, 16(11):1939-1953.
- Possobom, M. T. D. F., Rodrigues, H. S., Ferreira, R. A. D. C. Ludke, W. H. Cruz, C. D., Schuster, I., Silva, F. L. (2020) Interação Genótipo x Ambiente. *In: Matsuo, E., CRUZ, C. D., Sediyaama, T. (eds.) Aplicações de Técnicas Biométricas no Melhoramento Genético da Soja*. Londrina: Mecenasa, p. 153-164.
- R Development Core Team. (2020) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria: Available at: <https://www.R-project.org/>. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- Resende M. D. V. (2016) Software SELEGEN-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16:330-339.
- Resende, M. D. V., Duarte, J. B. (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37:182-194.
- Ruswandi, D., Syafii, M., Maulana, H., Ariyanti, M., Indriani, N. P., Yuwariah, Y. (2021) GGE *Biplot* analysis for stability and adaptability of maize hybrids in western region of Indonesia. *International Journal of Agronomy*, 2021:1-9.
- Santos, A. D., Amaral, A. T. D., Kurosawa, R. D. N. F., Gerhardt, I. F. S., Fritsche, R. (2017) GGE *Biplot* projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. *Ciência e Agrotecnologia*, 41:22-31.
- Santos, H. G. dos. Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. dos, Oliveira, V. A. de. Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Araújo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. de, Cunha, T. J. F. (2018) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed.. Brasília: Embrapa, 356p.

- Santos, P. R., de Oliveira, T. R. A., Skeen, P., Nascimento, M. R., Silva Costa, K. D., Araújo, E. R., Pereira, H. S., Costa, A. F. (2019) GGE *Biplot* and REML/BLUP based-analysis of yield stability and adaptability for common beans in multi-environment trials. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(2):1-8.
- Sediyama T., Felipe L. S., Borém, A. (2015) *Soja: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, 333p.
- Sediyama, T. (2009) *Tecnologia de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenas, 314p.
- Sediyama, T. (2016) *Produtividade da soja*. Londrina: Mecenas, 310p.
- Seixas, C. D S., Neumaier, N., Balbinot Júnior, A. A., Krzyzanowski, F. C., Leite, R. M. V. B. de C. (eds.) (2020) *Tecnologias de Produção de Soja*. Londrina: Embrapa Soja, 347p.
- Silva Júnior, E (2018) Brasil vai exportar produtos agrícolas pelo Porto de Açu (RJ) para Ilhas Canárias. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Colunas/caminhos-da-safra/noticia/2018/03/globo-rural-brasil-vai-exportar-produtos-agricolas-pelo-porto-de-acu-rj-para-ilhas-canarias.html>. Acesso em: 23 out. 2019.
- Silva, K. E. F., DoVale, J. C., Fritsche-Neto, R., Marques, J. N. (2021) GGE *Biplot* projection in adaptability and stability inference of soybean in an agricultural center Paraná, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, 52(1):1-9.
- Silva, W. J. D. S., Alcântara Neto, F. D., Al-Qahtani, W. H., Okla, M. K., Al-Hashimi, A., Vieira, P. F. D. M. J., Gravina, G. A., Zuffo, A. M., Dutra, A. F., Carvalho, L. C. B., Sousa, R. S. Pereira, A. P. A., Leite, W. S., Silva Júnior, G. B., Silva, A. C. D., Leite, M. R. L., Sobrinho, R. L., AbdElgawad, H. (2022) Yield of soybean genotypes identified through GGE *Biplot* and path analysis. *Plos One*, 17(10):1-13.
- Sousa, I. S. (2015) *Caracterização agromorfológica, adaptabilidade e estabilidade de populações e divergência genética entre linhagens de soja*. Piracicaba. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Piracicaba – SP, Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP/Esalq, 178p.
- Takahashi, A. (2014) *Interação genótipo x ambiente para produção de grãos e podridões de colmo em milho*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Jaboticabal – SP, Universidade Estadual Paulista – Unesp, 94p.
- Tefera, E. (2018) GGE *Biplot* phenotypic stability analysis of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] genotypes. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 10(12):324-335.

- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., Teixeira, W. G. (eds.) (2017) *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 574p.
- Torres, F. E., Benites, S. B., Ribeiro, L. P., Correa, A. M., da Silva Junior, C. A., Teodoro, P. E. (2018) Selection of soybean genotypes for to Cerrado/Pantanal ecotone via REML/BLUP. *Bioscience Journal*, 34(2):933-940.
- Viana, A. R. (1991) *Introdução e avaliação de cultivares de soja (Glycine max (L.) Merrill) no Norte Fluminense*. Relatório de projeto de pesquisa. Campos dos Goytacazes.
- Yan, W. (2011) GGE *Biplot* vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 65(2):181-193.
- Yan, W. (2016) Analysis and handling of G x E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56(5):2106-2118.
- Yan, W., Holland, J. B. (2010) A heritability-adjusted GGE *Biplot* for test environment evaluation. *Euphytica*, 171(3):355-369.
- Yan, W., Kang, M. S. (2002) *GGE Biplot Analysis a Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists*. Florida: CRC Press, 288p.
- Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., Cornelius, P. L. (2007) GGE *Biplot* vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47(2):643-653.
- Yan, W., Tinker, A. (2006) *Biplot* analysis of multi environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86:623-645.
- Yue, H., Gauch, H. G., Wei, J., Xie, J., Chen, S., Peng, H., Bu, J., Jiang, X. (2022) Genotype by Environment Interaction Analysis for Grain Yield and Yield Components of Summer Maize Hybrids across the Huanghuaihai Region in China. *Agriculture*, 12(5):1-17.
- Zakir, M. (2018) Review on genotype x environment interaction in plant breeding and agronomic stability of crops. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 8(12):14-21.
- Zhang, J., Wang, X., Lu, Y., Bhusal, S. J., Song, Q., Cregan, P. B., Yen, Y., Brown, M., Jiang, G. L. (2018) Genome-wide scan for seed composition provides insights into soybean quality improvement and the impacts of domestication and breeding. *Molecular Plant*, 11(3):460-472.
- Zilli, J. E., Batista, J. N., Guareschi, R. F., Zito, R. K. (eds.) (2022) *Avaliação de cultivos de soja no Norte Fluminense*. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 36p.

Zilli, J. E., Polidoro, J. C., Alves, B. J. R., Lumbreras, J. F. (eds.) (2021) *Produção da soja e do milho como um caminho para o desenvolvimento do agronegócio da Região Norte Fluminense*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 44p.

APÊNDICES

Tabela suplementar 1. Ranqueamento e valores genotípicos para a característica rendimento de grãos de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes ao longo das safras 2019/2020 e 2020/2021 na região Norte Fluminense

Ordem	Genótipo	A1	
		u + ge	u + g + ge
1	P 95R95 IPRO	689,06	3297,97
2	BMX ZEUS IPRO	511,42	3120,33
3	M 5917 IPRO	198,68	2807,58
4	BMX GARRA IPRO	174,83	2783,74
5	BMX COMPACTA IPRO	167,97	2776,88
6	TMG 7061 IPRO	-157,37	2451,54
7	BRS 544 RR	-321,25	2287,66
8	BRS 7780 IPRO	-1263,35	1345,56

Ordem	Genótipo	A2	
		u + ge	u + g + ge
1	BRS 7780 IPRO	757,47	2788,55
2	BMX COMPACTA IPRO	368,56	2399,64
3	TMG 7061 IPRO	166,29	2197,37
4	P 95R95 IPRO	105,86	2136,94
5	M 5917 IPRO	103,42	2134,50
6	BRS 544 RR	-462,67	1568,41
7	BMX ZEUS IPRO	-489,51	1541,57
8	BMX GARRA IPRO	-549,43	1481,65

Ordem	Genótipo	A3	
		u + ge	u + g + ge
1	BRS 7780 IPRO	160,54	1504,71
2	BMX ZEUS IPRO	105,88	1450,05
3	TMG 7061 IPRO	95,33	1439,51
4	P 95R95 IPRO	55,61	1399,78
5	BMX GARRA IPRO	39,94	1384,12
6	BMX COMPACTA IPRO	29,37	1373,54
7	BRS 544 RR	-144,97	1199,20
8	M 5917 IPRO	-341,69	1002,48

Ordem	Genótipo	A4	
		u + ge	u + g + ge
1	BRS 7780 IPRO	624,70	6263,37
2	P 95R95 IPRO	613,06	6251,72
3	BMX COMPACTA IPRO	514,68	6153,34
4	BRS 544 RR	443,24	6081,91
5	TMG 7061 IPRO	-60,39	5578,28
6	BMX GARRA IPRO	-350,70	5287,97
7	M 5917 IPRO	-578,00	5060,66
8	BMX ZEUS IPRO	-1206,59	4432,07

Tabela suplementar 1 – cont.

Ordem	Genótipo	A5	
		u + ge	u + g + ge
1	M 5917 IPRO	1395,65	6178,58
2	TMG 7061 IPRO	534,19	5317,13
3	P 95R95 IPRO	523,79	5306,72
4	BRS 7780 IPRO	320,43	5103,36
5	BMX GARRA IPRO	207,64	4990,57
6	BMX ZEUS IPRO	79,96	4862,89
7	BMX COMPACTA IPRO	-420,67	4362,26
8	BRS 544 RR	-2640,98	2141,95

Média Geral (μ): 3281,15 kg ha⁻¹

A1: Faz. Abadia Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A2:** Faz. Ayrizes Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A3:** Faz. Guandu Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A4:** Faz. Primus, Macaé Safra 2019/2020; **A5:** Faz. Primus, Macaé Safra 2020/2021.

Tabela suplementar 2. Análise de variância individual para a característica rendimento de grãos, em kg ha⁻¹, avaliada em oito genótipos de soja e cinco ambientes ao longo das safras 2019/2020 e 2020/2021 na região Norte Fluminense

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		Ambientes				
		A1	A2	A3	A4	A5
Bloco	3	229354,69	290226,68	17094,09	462464,46	97352,76
Genótipo	7	1642593,24**	965373,88**	121457,11**	2018430,64**	6295833,54**
Resíduo	21	192040,14	128825,29	13833,81	179728,95	97242,61
Média		2608,90	2027,21	1344,17	5638,6651	4782,93
CV (%)		16,79	17,70	8,75	7,51	6,51

A1: Faz. Abadia Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A2:** Faz. Ayrizes Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A3:** Faz. Guandu Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A4:** Faz. Primus, Macaé Safra 2019/2020; **A5:** Faz. Primus, Macaé Safra 2020/2021.

** = significativo estatisticamente, pelo teste “F” ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela suplementar 3. Rendimento de grãos, em kg ha⁻¹, de oito genótipos de soja em cinco ambientes nas safras 2019/2020 e 2020/2021, na região Norte Fluminense

Genótipos	Ambientes				
	A1	A2	A3	A4	A5
BMX ZEUS IPRO	3151,49 a	1512,55 c	1456,83 a	4359,93 c	4868,11 b
M 5917 IPRO	2819,20 a	2140,39 b	981,60 c	5025,58 b	6262,18 a
P 95R95 IPRO	3338,57 a	2142,47 b	1402,29 a	6287,75 a	5337,38 b
TMG 7061 IPRO	2441,83 a	2176,23 b	1444,99 a	5574,40 a	5349,01 b
BRS 544 RR	2269,64 a	1541,90 c	1191,79 b	6109,87 a	1984,45 d
BMX GARRA	2794,44 a	1448,81 c	1386,71 a	5267,07 b	5003,25 b
BMX COMPACTA IPRO	2786,70 a	2421,52 b	1375,03 a	6184,01 a	4336,68 c
BRS 7780 IPRO	1269,33 b	2833,85 a	1514,11 a	6300,67 a	5122,38 b

A1: Faz. Abadia Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A2:** Faz. Ayrizes Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A3:** Faz. Guandu Safra 2020/2021, Campos dos Goytacazes; **A4:** Faz. Primus, Macaé Safra 2019/2020; **A5:** Faz. Primus, Macaé Safra 2020/2021.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott & Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela suplementar 4. Resumo da análise de variância conjunta para rendimento de grãos de oito genótipos de soja, avaliados em cinco ambientes ao longo das safras 2019/2020 e 2020/2021 na região Norte Fluminense

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
Bloco/Ambiente	15	182217,59
Genótipos (G)	7	2130555,47
Ambiente (A)	4	108714863,42
G x A	23	2712692,75
Resíduo	82	156647,18
Total	29	
Média		3280,38
CV (%)		12,06

Teste "F" ao nível de 1 e 5% de probabilidade.

Modelo: $Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + e_{ijk}$

Efeitos: G aleatório e A fixo

Tabela suplementar 5. Resumo da análise de variância de características fitotécnicas, avaliadas de oito cultivares de soja em cinco ambientes, nas safras 2019/2020 e 2020/2021 no Norte Fluminense

Abadia, safra 2020/2021 (Ambiente 1)					
Fontes de variação	----- Quadrado médio -----				
	GL	APF	APM	AI1VAG	P100G
Bloco	3	2,65	17,04	2,32	1,05
Genótipo	7	362,15**	127,76**	7,69**	10,55**
Resíduo	21	3,38	6,57	0,92	0,51
Média		32,14	59,51	12,11	18,28
CV (%)		5,72	4,30	7,92	3,93

Ayrizes, safra 2020/2021 (Ambiente 2)					
Fontes de variação	----- Quadrado médio -----				
	GL	APF	APM	AI1VAG	P100G
Bloco	3	6,98	0,63	2,08	0,60
Genótipo	7	429,99**	337,05**	4,05*	8,11**
Resíduo	21	8,13	5,61	1,43	0,40
Média		40,57	70,78	11,61	15,11
CV (%)		7,03	3,34	10,32	4,19

Guandu, safra 2020/2021 (Ambiente 3)					
Fontes de variação	----- Quadrado médio -----				
	GL	APF	APM	AI1VAG	P100G
Bloco	3	3,36	0,83	0,67	0,57
Genótipo	7	115,95**	400,50**	4,99	3,59
Resíduo	21	9,86	8,33	0,41	0,90
Média		33,03	59,37	10,64	12,37
CV (%)		9,50	4,86	6,04	7,69

Primus, safra 2019/2020 (Ambiente 4)					
Fontes de variação	----- Quadrado médio -----				
	GL	APF	APM	AI1VAG	P100G
Bloco	3	3,01	31,35	1,47	2,38*
Genótipo	7	490,31**	727,75**	23,89**	25,42**
Resíduo	21	32,22	21,53	1,59	0,76
Média		30,03	82,87	12,26	18,20
CV (%)		18,90	5,59	10,29	4,79

Tabela suplementar 5 – cont.

Primus, safra 2020/2021 (Ambiente 5)					
Fontes de variação	----- Quadrado médio -----				
	GL	APF	APM	AI1VAG	P100G
Bloco	3	3,23	43,38	0,12	0,12
Genótipo	7	1146,04**	1056,58**	4,66**	14,26**
Resíduo	21	5,74	10,42	0,58	0,48
Média		51,14	108,92	12,44	17,09
CV (%)		4,68	2,96	6,13	4,09

APF: altura das plantas na floração (emergência até estágio R1), cm; **APM:** altura das plantas na maturidade (emergência até estágio R8), cm; **AI1VAG:** altura de inserção da primeira vagem na colheita (cm); **P100G:** massa de 100 grãos (g).

*, ** = significativo estatisticamente, pelo teste “F” ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela suplementar 6. Médias das características fitotécnicas de oito cultivares de soja em cinco ambientes, nas safras 2019/2020 e 2020/2021 no Norte Fluminense

Abadia, safra 2020/2021 (Ambiente 1)							
Genótipos	APF (cm)	NDF (dias)	APM (cm)	AI1VAG (cm)	NDM (dias)	ACAM (nota)	P100G (g)
BMX ZEUS IPRO	27,50 d	29	64,66 a	13,25 a	111	1	18,82 b
M 5917 IPRO	24,00 e	29	63,16 a	13,75 a	111	1	19,09 b
P 95R95 IPRO	35,66 c	29	63,33 a	12,66 a	111	1	15,42 c
TMG 7061 IPRO	25,83 e	29	57,75 b	11,83 a	111	1	18,30 b
BRS 544 RR	41,91 b	33	63,00 a	12,58 a	125	1	18,62 b
BMX GARRA	28,00 d	29	57,66 b	11,66 a	111	1	16,47 c
BMX COMPACTA IPRO	24,25 e	29	47,25 c	9,16 b	125	1	18,90 b
BRS 7780 IPRO	50,00 a	37	59,25 b	12,00 a	140	1	20,65 a
Ayrizes, safra 2020/2021 (Ambiente 2)							
Genótipos	APF (cm)	NDF (dias)	APM (cm)	AI1VAG (cm)	NDM (dias)	ACAM (nota)	P100G (g)
BMX ZEUS IPRO	38,42 b	30	62,33 d	11,33 b	100	1	17,91 a
M 5917 IPRO	40,48 b	30	74,41 b	13,08 a	100	1	14,09 d
P 95R95 IPRO	34,67 c	30	70,50 c	11,16 b	100	1	15,75 b
TMG 7061 IPRO	49,00 a	30	87,33 a	12,83 a	117	1	14,45 c
BRS 544 RR	42,66 b	38	76,25 b	11,08 b	100	1	15,75 b
BMX GARRA	47,93 a	30	70,75 c	12,33 a	100	1	14,98 c
BMX COMPACTA IPRO	19,33 d	30	56,91 e	10,33 b	100	1	14,76 c
BRS 7780 IPRO	52,08 a	38	67,75 c	10,75 b	125	1	13,14 d

Tabela suplementar 6 – cont.

Guandu, safra 2020/2021 (Ambiente 3)							
Genótipos	APF (cm)	NDF (dias)	APM (cm)	AI1VAG (cm)	NDM (dias)	ACAM (nota)	P100G (g)
BMX ZEUS IPRO	33,75 b	30	54,50 c	9,66 c	90	1	14,46 a
M 5917 IPRO	32,50 b	30	60,25 b	10,91 b	90	1	11,92 b
P 95R95 IPRO	40,50 a	30	62,58 b	11,99 a	90	1	11,76 b
TMG 7061 IPRO	29,50 c	30	64,08 b	11,75 a	90	1	12,05 b
BRS 544 RR	24,00 d	30	44,16 d	10,25 c	100	1	11,67 b
BMX GARRA	37,00 b	30	66,25 b	11,08 b	90	1	12,35 b
BMX COMPACTA IPRO	29,25 c	30	74,91 a	10,91 b	100	1	11,76 b
BRS 7780 IPRO	37,75 a	34	48,24 d	8,58 d	115	1	13,00 b

Primus, safra 2019/2020 (Ambiente 4)							
Genótipos	APF (cm)	NDF (dias)	APM (cm)	AI1VAG (cm)	NDM (dias)	ACAM (nota)	P100G (g)
BMX ZEUS IPRO	22,60 b	30	59,30 e	7,05 c	120	1	21,68 a
M 5917 IPRO	25,00 b	30	89,35 b	11,26 b	120	1	20,06 b
P 95R95 IPRO	29,32 b	30	99,68 a	13,06 b	130	1	13,45 d
TMG 7061 IPRO	21,00 b	30	88,85 b	11,75 b	120	4	19,02 b
BRS 544 RR	27,80 b	30	86,73 b	15,00 a	130	3	17,33 c
BMX GARRA	26,85 b	30	93,46 a	12,40 b	120	3	19,75 c
BMX COMPACTA IPRO	31,60 b	30	76,60 c	14,35 a	130	1	16,75 c
BRS 7780 IPRO	56,06 a	40	69,05 d	13,20 b	130	2	17,54 c

Tabela suplementar 6 – cont.

Primus, safra 2020/2021 (Ambiente 5)							
Genótipos	APF (cm)	NDF (dias)	APM (cm)	AI1VAG (cm)	NDM (dias)	ACAM (nota)	P100G (g)
BMX ZEUS IPRO	35,00 d	27	98,08 d	12,50 b	104	1	18,93 a
M 5917 IPRO	34,75 d	27	107,33 c	12,50 b	104	1	18,98 a
P 95R95 IPRO	26,41 e	27	101,50 d	12,41 b	119	1	16,73 b
TMG 7061 IPRO	61,00 b	34	109,41 c	11,83 b	104	2	17,00 b
BRS 544 RR	59,50 b	34	143,08 a	14,50 a	122	4	13,59 c
BMX GARRA	68,75 a	31	117,00 b	12,50 b	112	1	19,09 a
BMX COMPACTA IPRO	53,00 c	31	107,00 c	12,75 b	112	3	16,47 b
BRS 7780 IPRO	70,75 a	38	88,00 e	10,58 c	122	1	15,95 b

APF: altura das plantas na floração (em R1); **NDF:** número de dias para floração (emergência até estágio R1); **APM:** altura das plantas na maturidade (estágio R8); **AI1VAG:** altura de inserção da primeira vagem; **NDM:** número de dias na maturidade (emergência até estágio R8: ciclo); **ACAM:** acamamento (1 a 5, sendo 1: planta totalmente ereta e 5: planta totalmente prostrada); **P100G:** massa de 100 grãos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo Teste de Scott & Knott ao nível de 5% de probabilidade.